

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาในการ
ตัดชิ้นส่วนเหล็กคาร์บอนต่ำ IRSM-41



นายวุฒิมหัดชอยฟู สะโต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

**A STUDY OF PARAMETERS THAT EFFECT TO WEAR
OF PLASMA NOZZLE MADE FROM CUTTING LOW
CARBON STEEL IRSM-41**



Muhammatsoifu Sato

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Industrial Systems and
Environmental Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2017**

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสืบทอดของหัตถ์เครื่องพลาสมาในการตัดชิ้นส่วน
เหล็กคาร์บอนต่ำ IRSM-41


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อ. ดร.นรา สมัตถภาพงศ์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.ปภากร พิทยชวล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

กรรมการ



(รศ. ดร.นิวิธ เจริญใจ)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มุฮัมหมัดซอญฟู สะโต : การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอของหัวตัด
เครื่องพลาสมาในการตัดชิ้นส่วนเหล็กคาร์บอนต่ำ IRSM-41 (A STUDY OF
PARAMETERS THAT EFFECT TO WEAR OF PLASMA NOZZLE MADE
FROM CUTTING LOW CARBON STEEL IRSM-41) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชาวล, 93 หน้า.

ปัจจุบันเครื่องตัดพลาสมามีบทบาทในการตัดชิ้นส่วนโลหะ เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่สามารถตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยความรวดเร็ว แม่นยำและมีคุณภาพสูง ซึ่งคุณภาพของชิ้นงานที่ถูกตัดด้วยเครื่องพลาสมานั้นแสดงด้วยความเรียบผิวของรอยตัด และความกว้างของรอยตัดที่มีขนาดเล็ก โดยคุณภาพดังกล่าวจะแปรผันตามระยะเวลาของการใช้งานของหัวตัด (Nozzle) เมื่อหัวตัดใช้งานนานขึ้น จะเกิดการสึกหรอของหัวตัด ทำให้ไม่สามารถควบคุมลำแสงพลาสมาให้มีขนาดตามที่ต้องการได้ ส่งผลให้คุณภาพของรอยตัดลดลง ซึ่งนอกจากระยะเวลาของการใช้งานของหัวตัดแล้ว ปัจจัยต่าง ๆ ยังอาจส่งผลต่อการสึกหรอของหัวตัดได้

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาในการตัดชิ้นส่วนเหล็กคาร์บอนต่ำ และคาดการณ์การสึกหรอที่จะเกิดขึ้นบริเวณหัวตัด ปัจจัยที่สนใจคือ กระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด โดยการวัดขนาดของหัวตัดก่อนและหลังการตัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัลไมโครสโคป และวิเคราะห์ความแปรปรวน Two way ANOVA ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาอย่างมีนัยสำคัญ คือ ปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน ดังนั้น การสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาจะแปรผันตามปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการตัดชิ้นงานในช่วงปริมาณกระแสไฟ 40-45 ampere ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปสู่แนวทางการออกแบบกระบวนการตัดต่อไป

MUHAMMATSOIFU SATO : A STUDY OF PARAMETERS THAT
EFFECT TO WEAR OF PLASMA NOZZLE MADE FROM CUTTING
LOW CARBON STEEL IRSM-41. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. PAPHAKORN PITAYACHAVAL, Ph.D. 93 PP.

PLASMA CUTTING/WEAR OF NOZZLE

In the present a plasma cutting machine is normally applied to cut metal in electrical conductivity industrial according to an accuracy dimension and a reduction time consuming. A quality of this machine is depend upon a cutting surface and a kerf by controlling diameter of nozzle and size of electrode. Since kerf shape is crated base on nozzle diameter, while electrode is served plasma arc.

This thesis presents a study of parameters that effect to wear of plasma nozzle made from cutting low carbon steel, and predict the wear of plasma nozzle investigating three parameters: cutting speed, pressure gas, and current ampere. The diameters of nozzle was measured before and after cutting with a digital microscope. The experiments conducted based on ANOVA to establish the relationship of those parameters. The results ware show that the nozzle wear depended upon the current Ampere. Therefore wear of plasma nozzle depended up on the amount of power current ampere that was used to cut the work piece in the range 40-45 ampere. This result will be able to apply the design of the cutting process.

School of Industrial Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature สุวิมล อดิสรณ์

Advisor's Signature ป.พ. พิตายาชาวัล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชาวล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งได้ให้โอกาสทางการศึกษาและให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ คอยดูแลด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีและให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัยจนสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมทั้งยังช่วยตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ นายจิรวุฒิ ค่านทองกลาง และนายณรงค์ เขียวสูงเนิน ที่ได้กรุณาอบรมการใช้งานเครื่องมือตัดด้วยเครื่องพลาสมา ทั้งทางด้านทฤษฎีและภาคปฏิบัติจนประสบความสำเร็จในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและทำวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้ความรักและความทุ่มเทในการอุปการะเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนปลูกฝังให้รักในการศึกษาให้มีความเชื่อมั่นและความไว้วางใจตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีและเป็นแรงผลักดันจนทำให้ประสบผลสำเร็จในชีวิต

มุขัมหมัดชอยฟู สะโต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์	3
2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีทั่วไปและหลักการของเครื่องตัดพลาสมา	7
2.1.1 ส่วนประกอบเครื่องตัดพลาสมาทั่วไป	7
2.1.2 ส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา.....	8
2.1.3 ตัวแปรที่มีผลต่ออายุการใช้งานของวัสดุสิ้นเปลืองของเครื่องพลาสมา.....	9
2.2 การสีกหรอ.....	9
2.2.1 กลไกการสีกหรอ.....	9
2.2.2 พฤติกรรมการสีกหรอ	11
2.2.3 การวัดการสีกหรอ	11
2.3 กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (Digital microscope).....	12
2.4 ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ Minitab.....	13
2.4.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม MINITAB.....	14
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแผนแฟกเทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6	ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	19
3	วิธีการดำเนินงาน.....	21
3.1	การวางกรอบแนวคิดการทดลอง.....	21
3.1.1	กำหนดปัจจัยในการทดลอง.....	22
3.2	การออกแบบการทดลอง	22
3.2.1	ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	22
3.2.2	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง	32
3.2.2.1	อิทธิพลของปัจจัยของกระแสไฟ	32
3.2.2.2	อิทธิพลของปัจจัยของแรงดันแก๊ส.....	32
3.2.2.3	อิทธิพลของปัจจัยของความเร็วในการตัด.....	33
3.2.2.4	อิทธิพลของปัจจัยร่วมของกระแสไฟและแรงดันแก๊ส.....	33
3.2.2.5	อิทธิพลของปัจจัยร่วมของกระแสไฟและความเร็วในการตัด	33
3.2.2.6	ปัจจัยร่วมของแรงดันแก๊สและความเร็วในการตัด.....	34
3.2.2.7	ปัจจัยร่วมของกระแสไฟ แรงดันแก๊ส และความเร็วในการตัด	34
3.3	การทดลอง.....	34
3.3.1	การตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยเครื่องตัดพลาสมา	34
3.4	การวัดและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	38
3.4.1	การวัดขนาดผลการทดลองด้วยเครื่อง Digital microscope.....	38
3.4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 18.....	40
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	44
4.1	ผลการทดลองถ่ายภาพการวัดขนาดของหัวตัดที่ด้วยเครื่องดิจิทัลไมโครสโคป.....	44
4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	50
4.2.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวน Two Way ANOVA	50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2	วิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อขนาดของหัวตัด.....	56
4.2.3	การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง.....	58
4.2.4	การตรวจสอบความผันแปรจากการวัดค่า.....	59
4.2.5	สรุปผลการวิจัย.....	60
5	สรุปผล	62
5.1	สรุปผลการวิจัย	62
5.1.1	อิทธิพลของกระแสไฟ (Current ampere) ความดันแก๊ส (Gas pressure) และความเร็วในการตัด (Cutting speed) ผลต่อการสึกหรอของหัวตัด (Nozzle wear) ในการตัดด้วยพลาสมา.....	62
5.2	ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	62
5.3	ข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต.....	62
	รายการอ้างอิง	63
	ภาคผนวก.....	65
	ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าต่าง ๆ	65
	ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่า F distribution	83
	ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา	86
	ประวัติผู้เขียน.....	93

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1.1	ตารางแสดงยุทธศาสตร์การพัฒนอุตสาหกรรมไทย 4.0	1
1.2	การเปรียบเทียบการตัดเหล็กด้วยเครื่องมือการตัดด้วยแก๊ส เลเซอร์ และพลาสมา.....	2
2.1	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย	18
3.1	แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย	22
3.2	ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	23
3.3	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกระแสไฟ (A) และปัจจัยความดันแก๊ส (B)	25
3.4	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกระแสไฟ (A) และปัจจัยความเร็วในการตัด (C)	26
3.5	ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความดันแก๊ส (B) และปัจจัยความเร็วในการตัด (C).....	27
3.6	ตารางแผนการทดลอง	28
3.7	ขั้นตอนการควบคุมการตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยเครื่องพลาสมา.....	36
4.1	แสดงรูปหัวตัดที่ผ่านการตัดชิ้นงานมาแล้วในแต่ละปัจจัย	44
4.2	ตารางแสดงผลการวัดขนาดของหัวตัดที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ	47
4.3	ตารางการวิเคราะห์ ANOVA.....	52
4.4	ตารางสรุปการทดสอบสมมติฐานต่าง ๆ.....	55
ก.1	การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ	66

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

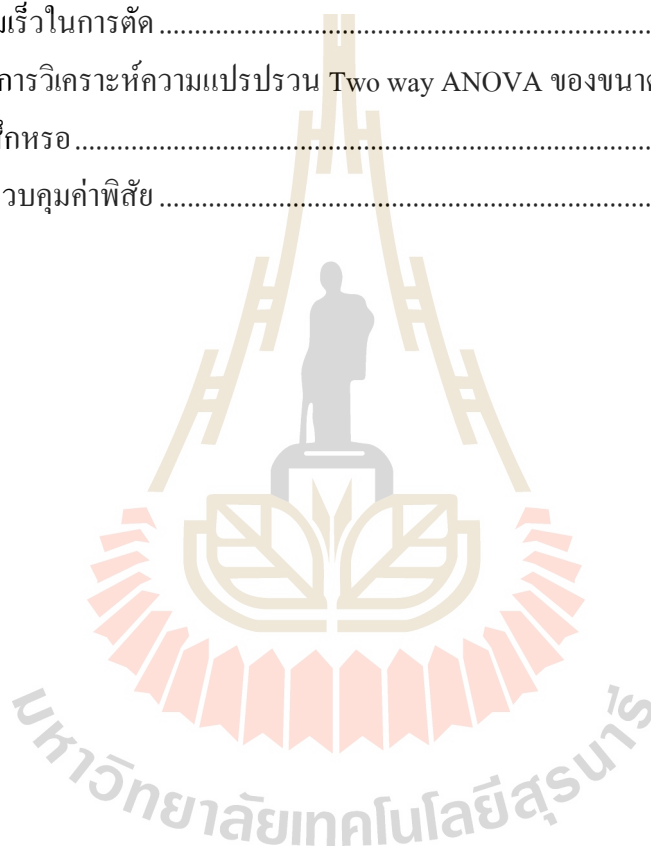
1.1	เปรียบเทียบความหนาในการตัดของเครื่องตัดต่าง ๆ	3
1.2	ปัญหาที่พบในการตัดโลหะด้วยเครื่องพลาสมา	4
1.3	มาตรฐานในการตัดด้วยเครื่องพลาสมาตาม ISO 9013	5
2.1	ส่วนประกอบเครื่องตัดพลาสมาทั่วไป	7
2.2	ภาพส่วนประกอบ ชิ้นส่วนของหัวตัดเครื่องพลาสมา	8
2.3	ประเภทของการสึกหรอ	10
2.4	กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล	12
2.5	ภาพรวมการใช้ของโปรแกรม Minitab	13
2.6	ลักษณะหน้าต่างโปรแกรม Minitab	14
3.1	แสดงขั้นตอนการศึกษางานวิจัย	34
3.2	ชุดเครื่องตัดพลาสมา	35
3.3	ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการตัด	35
3.4	กล้อง Digital microscope ยี่ห้อ Keyence รุ่น VHX -700F	39
3.5	รูปแสดงวิธีการวัดโดยการลากจุด 3 จุด	39
3.6	หน้าต่างเริ่มต้นโปรแกรม Minitab	40
3.7	การกรอกและบันทึกข้อมูลใน Worksheet	41
3.8	การเลือกใช้ฟังก์ชันของโปรแกรม	41
3.9	การปรับเปลี่ยนการตั้งค่า	42
3.10	การตั้งค่าการแสดงผลกราฟ	42
3.11	การแสดงผลการประมวลผลของโปรแกรม Minitab	43
4.1	แสดงตาราง ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab	51
4.2	กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของปัจจัยหลัก	56
4.3	กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของอิทธิพลร่วมระหว่างกระแสไฟ และความดันแก๊ส	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.4	กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของอิทธิพลร่วมระหว่างกระแสไฟ และความเร็วในการตัด	57
4.5	กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของอิทธิพลร่วมระหว่างความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด	58
4.6	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน Two way ANOVA ของขนาดหัวตัดที่เกิด จากการสึกหรอ	59
4.7	แผนภูมิควบคุมค่าพิสัย	60



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีอุตสาหกรรมที่สามารถพัฒนาให้เจริญพัฒนาตามนโยบายรัฐบาลคือ อุตสาหกรรม 4.0 (Thailand 4.0) ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้ธุรกิจหรือกิจการต่าง ๆ นำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต แปรรูป หรือจัดจำหน่าย โดยแบ่งลักษณะของธุรกิจที่รัฐบาลผลักดันไว้เป็นสามประเภทใหญ่ ๆ คือ [1]

1. First S-curve คือกลุ่มอุตสาหกรรมเดิมที่มีศักยภาพในการต่อยอดธุรกิจได้แก่ กิจการกลุ่มยานยนต์สมัยใหม่ กลุ่มอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ กลุ่มท่องเที่ยว กลุ่มเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ ทำยุดกลุ่มการแปรรูปอาหารดังตารางที่ 1.1

2. New S-curve คือกลุ่มอุตสาหกรรมอนาคตที่ต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีเพื่อเป็นกลไกในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ได้แก่ กลุ่มหุ่นยนต์ การบินและโลจิสติกส์ กลุ่มการแพทย์ครบวงจร กลุ่มดิจิทัล และกลุ่มเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ ดังตารางที่ 1.1

3. Wave S-curve คือกลุ่มอุตสาหกรรมที่ต้องมีการปฏิรูปเพื่อให้สามารถเติบโตได้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี ได้แก่ กลุ่มเครื่องหนัง ไม้แปรรูป สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม อัญมณีและเครื่องประดับ เซรามิก โลหะ ปูนซีเมนต์ แก้วและกระจก เป็นต้น ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไทย 4.0 [1]

ประเภท	กลุ่มอุตสาหกรรม
1. กลุ่มอุตสาหกรรมเดิมที่มีศักยภาพในประเทศ	อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ การแปรรูปอาหาร ท่องเที่ยว เกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ [1]
2. กลุ่มอุตสาหกรรมในอนาคต	อุตสาหกรรมยานยนต์หุ่นยนต์ การบินและโลจิสติกส์ เชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ ดิจิทัล การแพทย์ครบวงจร [1]
3. กลุ่มอุตสาหกรรมดั้งเดิม	อุตสาหกรรมยานยนต์เครื่องหนัง ไม้แปรรูป ปูนซีเมนต์ ปิโตรเคมีและพลาสติก สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม โลหะ แก้วและกระจก อัญมณีและเครื่องประดับ เซรามิก [1]

ทั้งนี้การที่ประเทศไทยจะสามารถพัฒนาอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ที่สามารถกระจายตัวออกไปเขตพื้นที่ต่างจังหวัดนั้นจำเป็นจะต้องที่จะพัฒนาโครงสร้างระบบพื้นฐานซึ่งประกอบด้วยระบบคมนาคม ระบบพลังงาน ระบบการจัดการน้ำ ระบบสื่อสาร ระบบจัดการขยะ เป็นต้น ซึ่งในอุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นที่จะต้องมีการแปรรูปโลหะเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการผลิตตัวถังรถไฟ เสาไฟฟ้า กังหันลม หรือกระทั่งรถจัดเก็บขยะซึ่งล้วนเป็นโลหะที่มีขนาดความหนามากกว่าใช้ปกติทั่วไปจำเป็นที่จะต้องมีการกระบวนการตัดโลหะที่ยอมรับได้ในคุณภาพ ซึ่งกระบวนการตัดโลหะที่ใช้ในปัจจุบันนั้นนิยมใช้การตัดโดยใช้ความร้อนแยกย่อยได้คือ

1. การตัดก๊าซ
2. การตัดด้วยพลาสมา
3. การตัดด้วยแสงเลเซอร์

ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบถึงคุณสมบัติข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการตัดแต่ละประเภทได้ดังตารางเปรียบเทียบตารางที่ 1.2 ความรวดเร็วและคุณภาพของงานตัดและราคาเครื่องจักรพบว่าการตัดด้วยเครื่องพลาสมานั้นเหมาะสมที่จะถูกเลือกมาใช้งานดังตารางต่อไปนี้

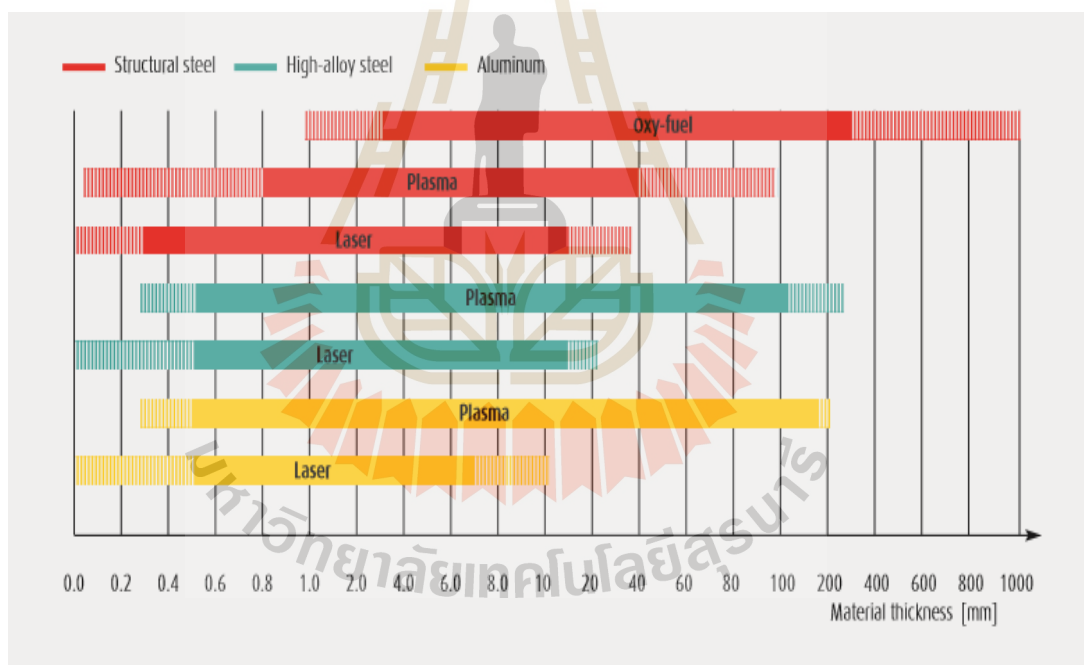
ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบการตัดเหล็กด้วยเครื่องมือการตัดด้วยแก๊ส เลเซอร์ และพลาสมา [2]

เครื่องตัด	การตัดด้วยก๊าซ	การตัดด้วยเลเซอร์	การตัดด้วยพลาสมา
คุณภาพการตัด	รอยตัดมีขนาดใหญ่ เกิดรอยไหม้ที่ชิ้นงาน บริเวณกว้าง ต้องเสีย แรงงานในการปรับแต่ง ผิวชิ้นงาน	คุณภาพการตัดดีมาก รอยตัดมีขนาดเล็ก เกิดรอยไหม้ที่ชิ้นงาน น้อย	คุณภาพการตัดดี มีขนาดปานกลาง เกิดรอยไหม้ที่ชิ้นงาน บ้าง
ความเร็ว ในการตัด	ค่อนข้างช้า	รวดเร็วสำหรับการตัด ชิ้นงานที่หนาไม่เกิน 0.25 นิ้ว	รวดเร็ว
ค่าเครื่องจักร	ราคาประมาณ 200,000- 500,000 สำหรับเครื่อง ตัดที่ตัดแผ่นโลหะ ขนาด 20×6.5 ฟุต ความหนา 0.4 นิ้ว	ราคาประมาณ 300,000 สำหรับเครื่องตัดที่ตัด แผ่นโลหะขนาด 20×6.5 ฟุต ความหนา 0.4 นิ้ว	ราคาประมาณ 120,000 สำหรับเครื่องตัดที่ตัด แผ่นโลหะขนาด 20×6.5 ฟุต ความหนา 0.4 นิ้ว

ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบการตัดเหล็กด้วยเครื่องมือการตัดด้วยแก๊ส เลเซอร์ และพลาสมา [2]
(ต่อ)

เครื่องตัด	การตัดด้วยก๊าซ	การตัดด้วยเลเซอร์	การตัดด้วยพลาสมา
อุปกรณ์ที่ต้องบำรุงรักษา	ปลายหัวตัด	Protective glass Gas nozzle และ ตัวกรองป้องกันฝุ่น	Cutting nozzle Electrode

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการตัดวัสดุเหล็กหล่อ สแตนเลส และอลูมิเนียมพบว่า เครื่องมือที่ใช้ตัดวัสดุที่มีระดับความหนา 5-15 mm เครื่องมือที่มีความเหมาะสมคือเครื่องตัดพลาสมาดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบความหนาในการตัดของเครื่องตัดต่าง ๆ

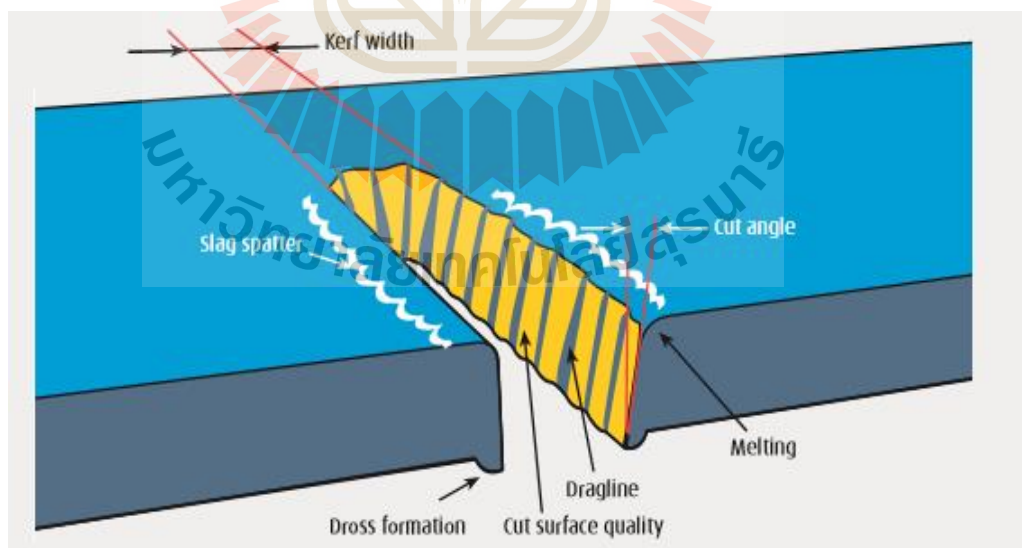
ที่มา : เอกสาร Facts about plasma technology and plasma cutting

(BOC A member of the Linde group)

การตัดเหล็กผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ใช้นั้นจะตัดเป็นรูปร่างต่าง ๆ อย่างเช่น รูปร่างวงกลม รูปร่างสี่เหลี่ยม เป็นต้น ในปัจจุบันใช้การตัดด้วยเครื่องพลาสมาที่ให้ทั้งความเร็ว คุณภาพของงานตัดที่เป็นที่ยอมรับ [3] และให้ความหลากหลายในการตัดเมื่อเทียบกับการตัดด้วยวิธีอื่น ไม่ว่าจะเป็นการตัดด้วยเลื่อย EDM หรือกระทั่งการตัดด้วยเครื่องตัดแรงดันสูง

เครื่องตัดพลาสมามีหลักการทำงานเริ่มจากพลาสมาก๊าซไหลผ่านเข้าส่วนหัวทอร์ช อากาศจะถูกบีบให้ผ่านช่องรูเล็ก ๆ ทางด้านข้าง ทำให้อากาศเคลื่อนที่หมุนผ่านไป Electrode ในขณะที่หัว Electrode มีไฟฟ้าลักรออยู่ และเมื่อได้รับการกระตุ้น การเริ่มอาร์คไฟฟ้าจากชุดแรงดันสูง-ความถี่สูงก็จะทำให้อากาศรอบ ๆ หัว Electrode เกิดการแตกตัวพร้อมกับอาร์คหลักจะเริ่มทำงานและเกิดเป็นอาร์คพลาสมาขึ้นมหลังจากนั้นพลาสมาจะวิ่งผ่านรูที่อยู่ตรงกลางของหัว Nozzle ซึ่งทำหน้าที่บีบอัดพลาสมาที่เกิดขึ้นให้เกิดเป็นลำแสงพลาสมาที่สมบูรณ์วิ่งออกไปสู่ชิ้นงานเพื่อตัดวัสดุ [4]

การตัดโลหะเป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการอุตสาหกรรมเครื่องมือหนักซึ่งจะใช้ทั้งการควบคุมด้วยมือหรือการควบคุมด้วยชุดควบคุมก็ได้ แต่กระบวนการตัดด้วยเครื่องพลาสมานั้นมีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือวัสดุสิ้นเปลืองของเครื่องนั้นคือ หัวตัด [5] เป็นอุปกรณ์ที่มีผลต่อคุณภาพในการตัดที่มีผลต่ออัตราความกว้างในการตัด (Kerf width) หรือความหยาบผิว (surface roughness) ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งเมื่อเกิดการสึกหรอของหัวตัดก็จะมีผลต่อคุณภาพในงานตัดนั้นคือความหยาบผิว และความกว้างในการตัด [6]

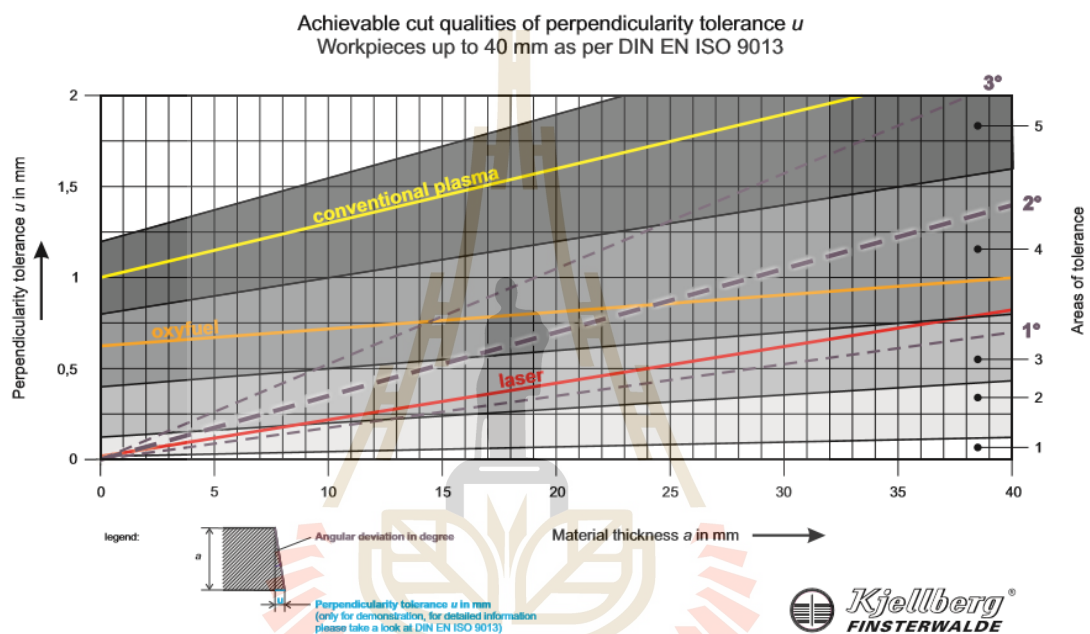


รูปที่ 1.2 ปัญหาที่พบในการตัดโลหะด้วยเครื่องพลาสมา

ที่มา : เอกสาร Facts about plasma technology and plasma cutting

(BOC A member of the Linde group)

ดังนั้นในงานวิจัยเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาในการตัดชิ้นส่วนของเหล็กคาร์บอนต่ำ IRSM-41 จึงมีความสำคัญเพื่อหาตัวแปรใดที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ส่งผลต่อคุณภาพในงานตัวอย่างเช่น ความกว้างในการตัด ความหยาบผิว ซึ่งเป็นคุณภาพในการตัดงานด้วยเครื่องพลาสมาตามมาตรฐาน ISO 9013 ดังรูปที่ 1.3 เพื่อที่สามารถป้องกันการเกิดความสูญเสียวัสดุในการตัดชิ้นส่วนโลหะต่าง ๆ ในประเทศไทย ตามที่รัฐบาลได้มีนโยบายเพื่อพัฒนาประเทศไทยอุตสาหกรรม 4.0



รูปที่ 1.3 มาตรฐานในการตัดด้วยเครื่องพลาสมาตาม ISO 9013

ที่มา : <http://www.kjellberg.de/Cutting-Equipment/Plasma/Plasma-cutting>

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า ความดันแก๊สและความเร็วในการตัด ที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดของเครื่องพลาสมา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 เครื่องตัดพลาสมารุ่น Hypertherm powermax 45 xp
- 1.3.2 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ IRSM-41 ความหนา 10 มิลลิเมตร
- 1.3.3 หัวตัดรุ่นรหัส 220941 Type 45 A

1.3.4 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ 40 42 45 แอมป์

1.3.5 ความดันแก๊สที่ 6 7 8 บาร์

1.3.6 ความเร็วในการตัด 200 300 400 mm/min

1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย และขอบเขตของการวิจัย บทที่ 2 ทฤษฎีทั่วไปและหลักการของเครื่องตัดพลาสมาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 การวางกรอบแนวคิดการทดลอง การออกแบบการทดลอง และการวัดและการวิเคราะห์ผลการทดลอง บทที่ 4 ผลการทดลองถ่ายภาพการวัดขนาดของหัวตัดที่ด้วยเครื่องดิจิทัลไมโครสโคป และบทที่ 5 นำเสนอการสรุปผลจากการดำเนินการวิจัย ประโยชน์ของงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป



บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

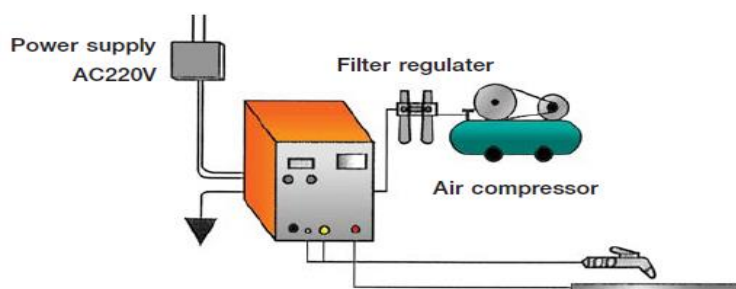
บทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่ได้รวบรวมงานที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการศึกษาสนับสนุนการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาในการตัดชิ้นส่วนเหล็กคาร์บอนต่ำ IRSM-41

2.1 ทฤษฎีทั่วไปและหลักการของเครื่องตัดพลาสมา

เครื่องตัดพลาสมา (Plasma Cutting Machine) นี้จะทำการอาร์ระหว่างอิเล็กโทรด (electrode) และชิ้นงานที่ตัด ผ่านช่องเล็ก ๆ ที่ทำด้วยทองแดง (copper nozzle) ซึ่งจะทำให้เกิดพลาสมา (plasma) ซึ่งมีอุณหภูมิและความเร็วสูงเพิ่มขึ้นเมื่อไหลออกมาจากหัว nozzle โดยที่อุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 20,000 องศาเซลเซียส และความเร็วเข้าใกล้ความเร็วเสียง ซึ่งลำของพลาสมาจะตัดทะลุผ่านชิ้นงานที่หลอมเหลวแล้วถูกกำจัดให้ไหลออกไป ทางด้านล่างของชิ้นงาน การตัดด้วยเครื่องพลาสมานั้นจะต้องใช้แก๊สเข้ามาใช้ในระบบอย่างเช่น ไนโตรเจนที่เหมาะสมใช้กับเหล็กจำพวกสเตนเลสสตีล อลูมิเนียม และ นิกเกิล ออกซิเจนที่เหมาะสมกับวัสดุจำพวกคาร์บอนเพราะจะไม่ทิ้งตะกอนในโคโรด [6]

2.1.1 ส่วนประกอบเครื่องตัดพลาสมาทั่วไป

ประกอบด้วยเครื่องจ่ายส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนของเครื่องอัดอากาศและส่วนของหัวตัดพลาสมา โดยมีองค์ประกอบโดยรวม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเครื่องตัดพลาสมาทั่วไป

ที่มา : <http://ktwgroup.blogspot.com>

2.1.2 ส่วนประกอบของหัวตัดพลาสมา

ชิ้นส่วนของหัวตัดพลาสมาและหน้าที่ประกอบไปด้วยดังรูปที่ 2.2

2.1.2.1 Shield เป็นส่วนปลายสุดของหัวตัดเพื่อป้องกันส่วนของ Nozzle ไม่ให้เกิดความเสียหาย

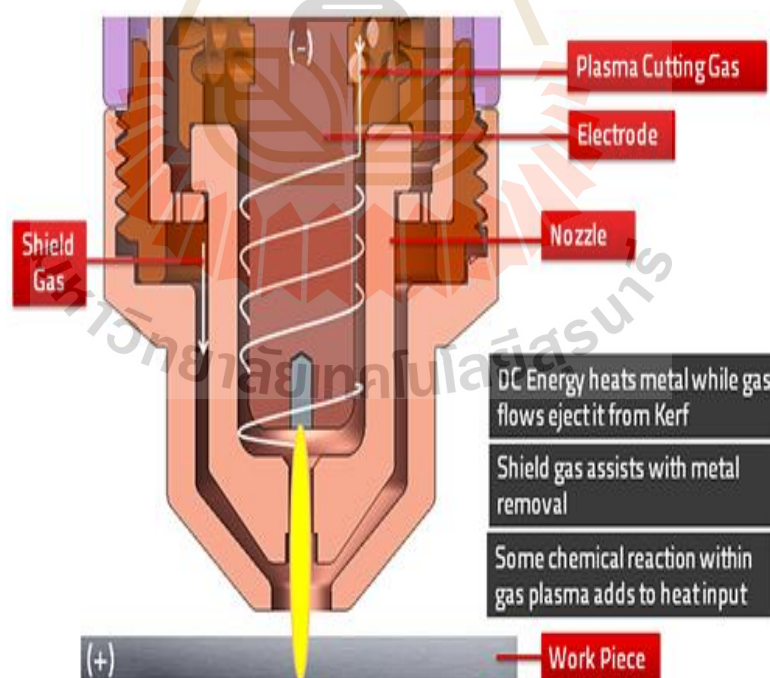
2.1.2.2 Retaining Cap/Nozzle holder เป็นชิ้นส่วนนอกสุดของหัวตัดเพื่อจับยึดส่วนประกอบอื่น ๆ กับส่วนของ Torch Head

2.1.2.3 Nozzle เป็นชิ้นส่วนที่ใช้บีบอาร์คพลาสมาผ่านช่องรูที่อยู่ตรงปลายของหัว Nozzle เป็นไปอย่างรวดเร็วเพื่อให้เกิดอาร์คพลาสมา

2.1.2.4 Electrode เป็นส่วนของตัวนำไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้เกิดอาร์คไฟฟ้าหลักซึ่งเป็นส่วนที่ต่อจาก Swirl Ring

2.1.2.5 Swirl Ring เป็นส่วนที่ทำให้อากาศถูกบีบอัดให้ผ่านช่องรูเล็ก ๆ ทางด้านข้างทำให้อากาศเคลื่อนที่หมุนผ่านไปยังขั้ว Electrode เป็นไปอย่างรวดเร็ว

2.1.2.6 Torch Head เป็นส่วนนอกสุดที่ใช้จับยึดส่วนของ Retaining Cap เพื่อยึดส่วนประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.2 ภาพส่วนประกอบ ชิ้นส่วนของหัวตัดเครื่องพลาสมา

ที่มา : <http://www.lincolnelectric.com/us/equipment/plasma-cutters>

2.1.3 ตัวแปรที่มีผลต่ออายุการใช้งานของวัสดุสิ้นเปลืองของเครื่องพลาสมา

2.1.3.1 Number of pierces เพราะความเครียดที่เกิดการเจาะหรือตัดแต่ละครั้งนั้นเป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของการกัดกร่อนบนอิเล็กโทรด

2.1.3.2 Cut duration ระยะเวลาที่ยาวนานในการตัดจะยิ่งให้ก่อเกิดความเครียดและความร้อน ก่อเกิดการกัดกร่อน

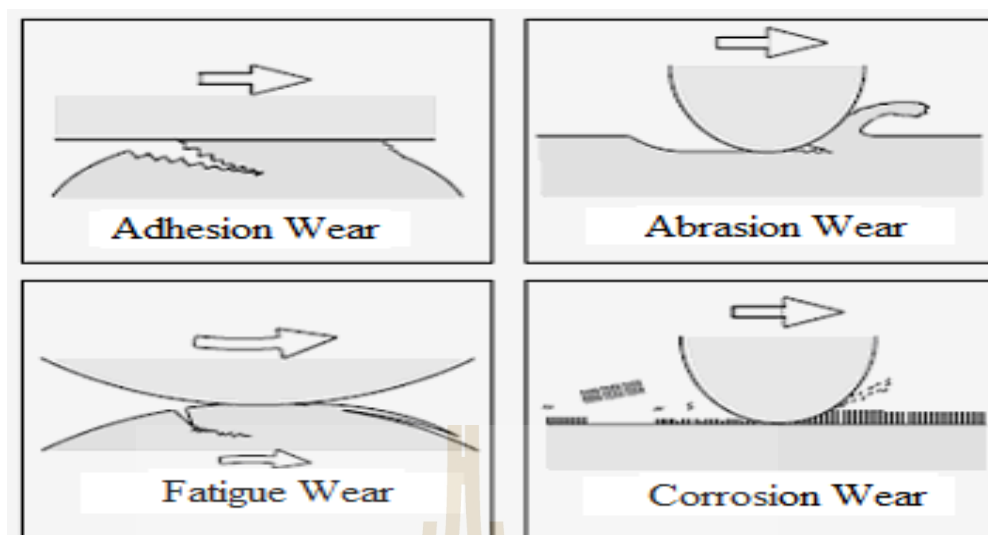
2.1.3.3 Material thickness วัสดุที่หนานั้นจะต้องยิ่งใช้กระแสไฟฟ้าที่มากขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการกัดกร่อน และวัสดุที่หนาก็ยังต้องใช้เวลานานขึ้นในการตัดทำให้เกิดการสึกหรอที่อิเล็กโทรดและหัวตัด [7]

2.2 การสึกหรอ

การสึกหรอคือความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวอันเนื่องจากการเคลื่อนที่ระหว่างผิวสัมผัสของมวลและสิ่งแวดล้อม โดยความเสียหายนั้นจะอยู่ในรูปของการสูญเสียเนื้อสารจำนวนหนึ่งออกไปจากชิ้นวัตถุโดยไม่ปรารถนา โดยทั่วไปการสึกหรอถูกพิจารณาจากเนื้อสารที่สูญเสียไปเกิดการหลุดออกของวัสดุกลายเป็นเศษการสึกหรอ และขนาดของรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งหากไม่ได้รับการแก้ไขแล้วนั้นอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชิ้นงานนั้นได้ หรือสูญเสียหน้าที่การทำงานของระบบอย่างฉับพลันได้ [8]

2.2.1 กลไกการสึกหรอ

การแบ่งกลไกของการสึกหรอสามารถใช้เปรียบเทียบการสึกหรอประเภทต่าง ๆ ได้เพื่ออธิบายกลไกการสึกหรอและเข้าใจการเปลี่ยนรูปแบบการสึกหรอจากประเภทหนึ่งไปเป็นอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งความรู้ตรงนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบช่วยลดการสึกหรอและทำนายอายุการใช้งานได้ โดยทั่วไปแล้วการสึกหรอจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ [9] คือดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 ประเภทของการสึกหรอ

ที่มา : <https://www.intechopen.com/books>

2.2.1.1 การสึกหรอแบบ Adhesive เกิดจากการที่ผิวโลหะมาเสียดสีกัน และขูดแหลมที่หลอมติดกันถูกกระแทกให้แตกหักอันเป็นขบวนการเกิดแรงเสียดทานนั่นเอง น้ำมันหล่อลื่นป้องกันและลดการสึกหรอประเภทนี้โดยการทำหน้าที่ลดการสัมผัสกันระหว่างหน้าสัมผัสได้อันเป็นการลดแรงเสียดทานไปในตัว การสึกหรอประเภทนี้มักเกิดจากการหยุดและไปของผิวหน้าสัมผัสก่อนที่ฟิล์มน้ำมันจะเกิดขึ้นได้ หรือความลื่นไหลอื่น ๆ ของฟิล์มน้ำมันที่จะแยกหน้าสัมผัสออก [9]

2.2.1.2 การสึกหรอแบบ Abrasive เกิดจากการที่มีชิ้นส่วนของแข็งขนาดเล็กหลุดเข้าไปในบริเวณผิวสัมผัส และครูดไถไปบนผิวหน้าที่อาจจะอ่อนกว่าชิ้นส่วนของแข็งนี้อาจจะเป็นสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก หรือเศษที่แตกหักมาจากการสึกหรอนั่นเอง ดังนั้นปัจจัยของการสึกหรอแบบ Abrasive คืออนุภาคของแข็งต้องมีขนาดใหญ่กว่าความหนาของฟิล์มน้ำมันและมีความแข็งกว่าผิวหน้าสัมผัส น้ำมันหล่อลื่นสามารถทำหน้าที่ชะล้างหรือพัดพาเอาอนุภาคของแข็งที่เป็นอันตรายต่อผิวหน้านี้ไปได้ เป็นการลดการสึกหรอโดยที่อุปกรณ์ของระบบหล่อลื่น เช่น ซิลและไส้กรอง มีส่วนสัมพันธ์กับหน้าที่นี้มาก [9]

2.2.1.3 การสึกกร่อน (Corrosive) หมายถึงการที่เนื้อสารถูกสารอื่นเข้ากัดกร่อนทำปฏิกิริยาเคมี เช่น จากในบรรยากาศทั่ว ๆ ไป จากสารที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมสภาพกลายเป็นกรด หรือจากไอกรดก่กัมธันจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้และอื่น ๆ น้ำมันหล่อลื่น

ช่วยลดการสึกกร่อนได้ 2 วิธี คือ การทำตัวเป็นฟิล์มเคลือบผิวหน้าป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน และการที่น้ำมันหล่อลื่นมีสารเคมีที่จะหยุดยั้งหรือชะลอเข้าทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นอันตรายนั้นเสียก่อน [9]

2.2.1.4 Fatigue Wear เกิดจากความเสียหายภายใต้ผิวหน้าอันเป็นผลมาจากการที่ผิวหน้าถูกแรงกระทำซ้ำ ๆ กันเป็นเวลานาน และเกิดการล้าของเนื้อสารนั้น อาการที่พบได้มักจะเป็นรู หรือการแตกที่เกิดโดยฉับพลัน ไม่สามารถคาดการณ์ได้ สำหรับการสึกหลอประเภทนี้ยังไม่สามารถชี้ชัดถึงความสามารถของน้ำมันหล่อลื่นว่ามีส่วนช่วยลดหรือป้องกันได้ประการใด [9]

2.2.2 พฤติกรรมการสึกหรอ

พฤติกรรมการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ [10]

2.2.2.1 พฤติกรรมการสึกหรอในช่วงเริ่มต้นและช่วงสมดุล (ในช่วงนี้อัตราการสึกหรอจะมีสูงมาก)

2.2.2.2 การสึกหรอแบบไม่รุนแรงและรุนแรง (วัสดุส่วนใหญ่จะเกิดการสึกหรอทั้งสองลักษณะ โดยระยะแรกจะเกิดแบบไม่รุนแรงแต่ถ้าไม่มีการรักษาบำรุงที่ดีก็จะการสึกหรอแบบรุนแรงต่อมา

2.2.2.3 จุดเปลี่ยนการสึกหรอ ในสภาวะการใช้งานจริงทั่วไปชิ้นส่วนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบผสม และเปลี่ยนแปลงกลไกตามปัจจัยของวัสดุและสภาวะการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปจุดเปลี่ยนการสึกหรอขึ้นอยู่กับภาวะกด ความเร็วการไถล และระยะไถล

2.2.2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอ [10]

2.2.2.4.1 ความแข็ง

2.2.2.4.2 ความหยาบผิว

2.2.2.4.3 วัสดุ

2.2.2.4.4 สภาพแวดล้อม

2.2.2.4.5 อุณหภูมิ

2.2.2.4.6 ความเร็วการไถล

2.2.2.4.7 แรงกด

2.2.2.4.8 ระยะเวลา/ระยะทาง

2.2.3 การวัดการสึกหรอ สามารถวัดได้ 3 วิธี [10]

2.2.3.1 วัดการเปลี่ยนแปลงมวล

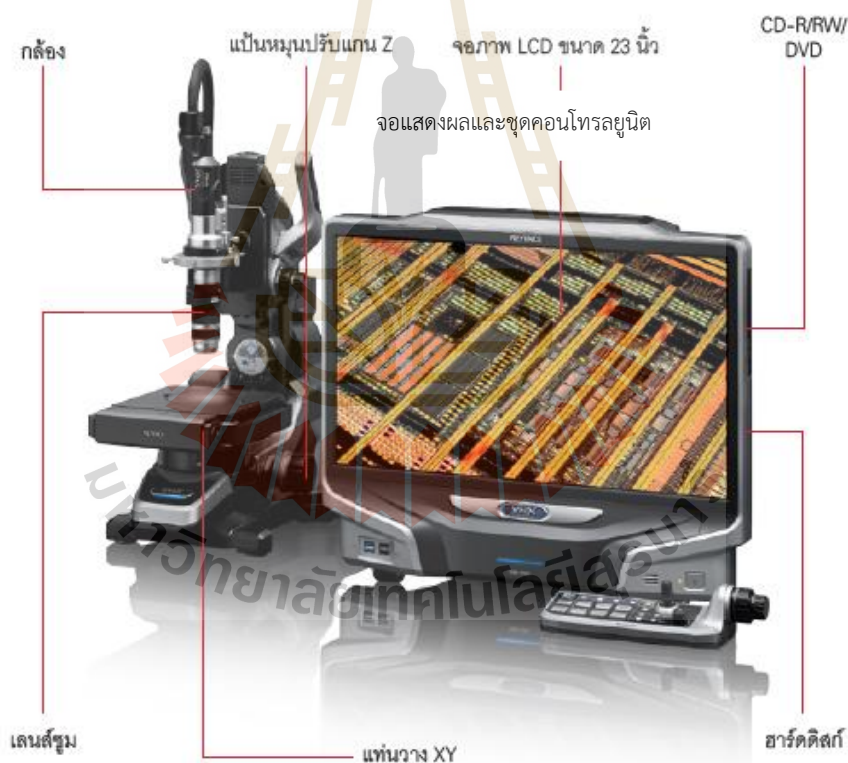
2.2.3.2 วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

2.2.3.3 วัดการเปลี่ยนแปลงทางอ้อม

การทดสอบการสึกหรอ โดยปกติทั่วไปแล้วการศึกษาการทดสอบการสึกหรอ จะอ้างอิงจาก ASTM G 99 Standard Test Method for Wear

2.3 กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (Digital microscope)

กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล คือ กล้องจุลทรรศน์พร้อมกล้องดิจิทัล โดยสามารถสังเกตจากตัวอย่างผ่านทางคอมพิวเตอร์ กล้องจุลทรรศน์สามารถเป็นบางส่วนหรือทั้งหมดที่ควบคุมด้วยระดับต่าง ๆ ของอัตโนมัติ กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัลช่วยให้การวิเคราะห์ที่ดีกว่าของกล้องจุลทรรศน์ออปติคอลทั่วไป เนื่องจากสามารถที่จะทำการตรวจสอบ การวัดขนาดและบันทึกในครั้งเดียวภายใต้การทำงานครั้งเดียว โดยการส่งหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่แสดงผลออกมา [11] นอกจากนี้ยังมีกำลังการขยายกว้างและต่อเนื่องแล้วยังอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่ถอดประกอบใช้งานง่ายดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล

ที่มา : คู่มือแนะนำไมโครสโคปแบบดิจิทัล [ส่วนที่ 1-ส่วนที่ 4]

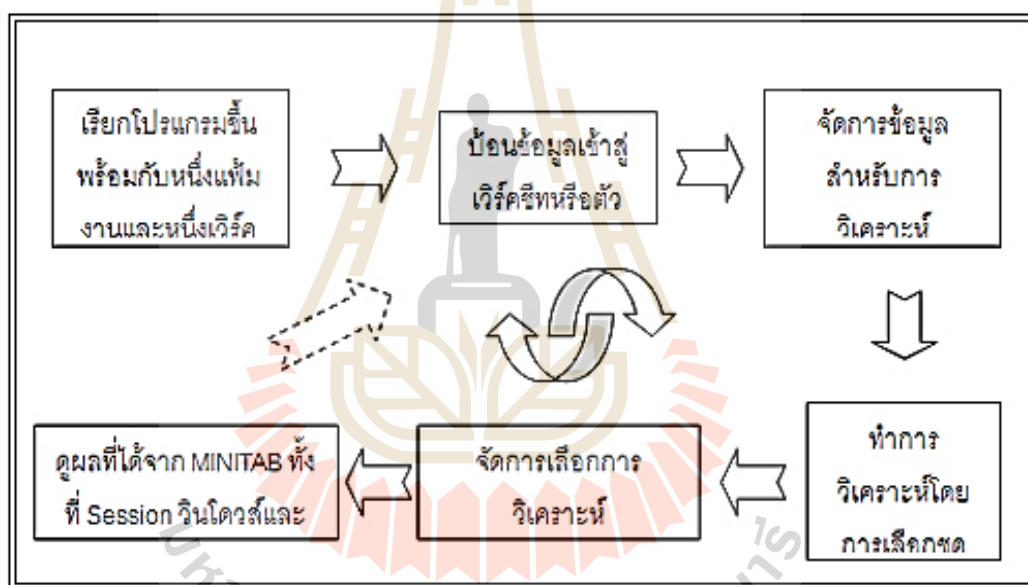
บริษัท KEYENCE (THAILAND) CO., LTD.

2.4 ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ Minitab

เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปหรือเครื่องมือใช้วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลข้อมูลทางด้านสถิติเฉพาะที่ปัจจุบันพัฒนาปรับปรุงมาจนถึงเวอร์ชัน 18 โดยที่ Minitab สามารถที่จะนำข้อมูลทางสถิติมาประมวลผลได้อย่างหลากหลายประเภทเช่นงานควบคุมคุณภาพ โดยภาพรวมของโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 2.4 และลักษณะหน้าต่างโปรแกรมดังแสดงที่ รูป 2.5 ตามลำดับ

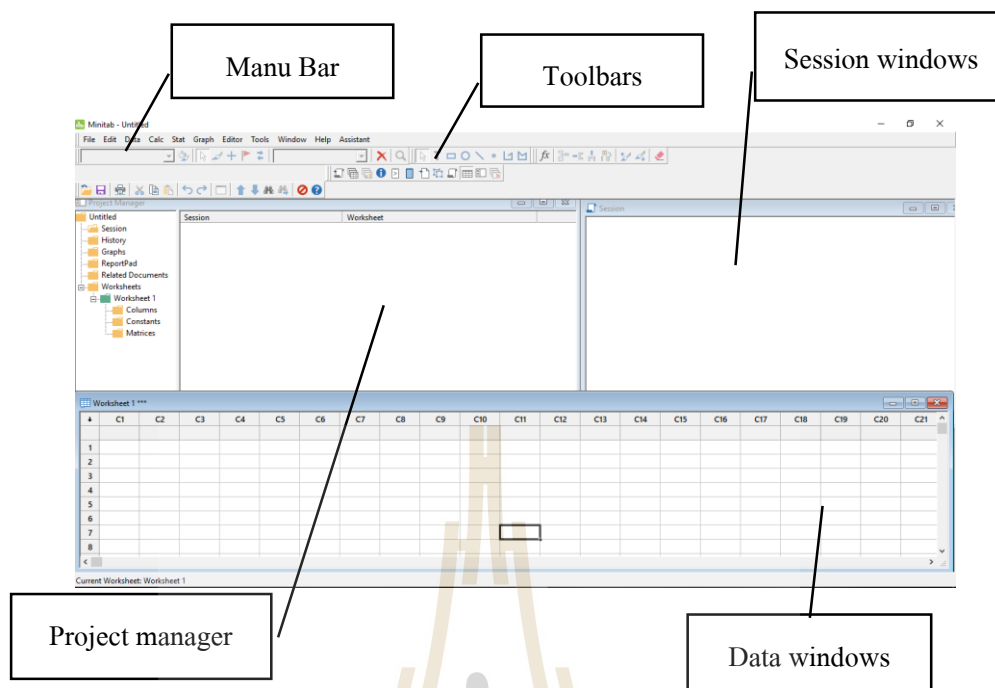
ดังนั้น Minitab จึงถูกเลือกใช้ด้วยเหตุผลหลัก 3 ประการ คือ

- ความซับซ้อนในการประมวลผล (Complexity)
- ความเที่ยงตรงและแม่นยำ ในการประมวลผลข้อมูล (Accuracy)
- ความรวดเร็วและความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)



รูปที่ 2.5 ภาพรวมการใช้ของโปรแกรม Minitab

ที่มา : http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/



รูปที่ 2.6 ลักษณะหน้าต่างโปรแกรม Minitab

2.4.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม MINITAB

ขั้นตอนที่ 1 การเปิดโปรแกรมหรือเริ่มต้นเข้าสู่การทำงานบนแฟ้มงาน

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนข้อมูลเข้าสู่เวิร์กชีท เนื่องจากโปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ดังนั้นเมื่อเราเปิดแฟ้มงานแล้วสิ่งที่จำเป็นมากสำหรับการใช้งานโปรแกรมคือ ข้อมูลซึ่งจะเป็นการป้อนจากแฟ้มพิมพ์ การนำข้อมูลจากฐานข้อมูลชนิดอื่น เช่น Excel, Access หรือ Text เป็นต้นหรือการเปิดจากไฟล์เวิร์กชีทของ Minitab ก็ได้แล้วแต่ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้เอง

ขั้นตอนที่ 3 เป็นส่วนการจัดการข้อมูลเป็นขั้นตอนที่สามารถข้ามไปยังขั้นตอนต่อไปได้ ถ้าหากว่าข้อมูลที่อยู่ในเวิร์กชีทมีความพร้อมและอยู่ในรูปแบบที่ถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab แต่ถ้าหากไม่เราจำเป็นต้องจัดการข้อมูลดังกล่าวก่อนอาจใช้ฟังก์ชันที่มีใน Minitab หรือการจัดการจากโปรแกรมอื่นก่อนนำเข้าสู่เวิร์กชีทใน Minitab ก็ได้ แล้วแต่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัญหาและประสบการณ์ในการจัดการข้อมูลของผู้ใช้งานโปรแกรม ตัวอย่างขั้นตอนนี้ คือ การรวมข้อมูล (Stack) การเปลี่ยนทิศทางการเรียงข้อมูล (Transpose Data) การคำนวณข้อมูล (Calculate) การสร้างชุดข้อมูลย่อย (Subset) เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ทางสถิติโดยเราจะเลือกฟังก์ชันหรือตัวสถิติที่เราจะทำการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การออกแบบการทดลอง (DOE) เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 5 เป็นส่วนในรายละเอียดของการวิเคราะห์ใด ๆ ที่เราเลือก โดยปกติแล้วถ้าเราใช้การตั้งค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (Default) ซึ่งเป็นค่าที่มีการใช้ทั่วไปแล้ว เมื่อเราได้ข้อมูลครบถ้วนตามที่โปรแกรมต้องการแล้ว เราสามารถข้ามขั้นตอนนี้ไปได้ แต่ในบางครั้งเราต้องการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าว เช่น ค่าความเชื่อมั่น 95% เป็น 99% การสร้างกราฟ หรือจะเป็นการสั่งให้โปรแกรมแสดงค่าหรือเก็บค่าใด ๆ ที่เราต้องการ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการจัดการกับผลการประมวลผลที่โปรแกรม Minitab ดำเนินการให้ซึ่งจะออกมาใน 2 รูปแบบคือ ผลทางตัวเลขหรือตัวอักษรและกราฟ ตัวอย่างของการทำงานในขั้นตอนนี้ เช่น การสร้างรายงาน ดัดข้อมูลผิดปกติ การเปลี่ยนสีกราฟ เป็นต้น

2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแผนแฟกเตอร์เรียลที่มี 3 ปัจจัย

ในการทดลองกรณีที่กำหนด 3 ปัจจัยแทนด้วย ปัจจัย A ปัจจัย B และปัจจัย C แต่ละปัจจัยจะมีระดับ 2 ระดับขึ้นไป แทนด้วย a b และ c ซึ่งจะทำให้การทดลองที่ r ครั้ง

Y_{ijkn} แทน ผลลัพธ์จากการทดลองที่ระดับ i^{th} ของปัจจัย A ระดับ j^{th} ของปัจจัย B และระดับ k^{th} ของปัจจัย C ครั้งที่ n^{th} ซึ่งจะมีผลการทดลองทั้งหมดจากการสุ่มด้วยลำดับ abc n ครั้ง และจำนวน abc n ตัวอย่างซึ่งเป็นการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design โดยปัจจัยทั้งสามส่งผลต่อผลลัพธ์คงที่ (Fixed Effects) และผลลัพธ์ จากการทดลองสามารถแทนได้ด้วยตัวแบบทางสถิติด้วยสมการ 2.1

$$Y_{ijkn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkn} \quad (2.1)$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, a$

$j = 1, 2, \dots, b$

$k = 1, 2, \dots, c$

$n = 1, 2, \dots, r$

เมื่อ

Y_{ijkn} คือ ค่าของข้อมูลของปัจจัย A ระดับ i ปัจจัย B ระดับ j ปัจจัย C ระดับ k และซ้ำที่ n

- μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมหรือค่าเฉลี่ยทั้งหมด
- α_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ระดับ i
- β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ระดับ j
- γ_k คือ อิทธิพลของปัจจัย C ระดับ k
- $\alpha\beta_{ij}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย A ระดับ i กับปัจจัย B ระดับที่ j
- $\alpha\gamma_{ik}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย A ระดับ i กับปัจจัย C ระดับที่ k
- $\beta\gamma_{jk}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย B ระดับ j กับปัจจัย C ระดับที่ k
- $\alpha\beta\gamma_{ijk}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย A ระดับ i กับปัจจัย B ระดับที่ j และปัจจัย C ระดับ k
- ε_{ijkn} คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

สมการที่ (2.0) อธิบายได้ว่า ค่าของผลลัพธ์ที่สนใจ (Response) จากการทดลองแต่ละครั้ง จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลหลัก ของปัจจัย A B และ C อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย AB AC BC และ ABC ซึ่งแทนได้ด้วย α_i β_j γ_k $\alpha\beta_{ij}$ $\alpha\gamma_{ik}$ $\beta\gamma_{jk}$ และ $\alpha\beta\gamma_{ijk}$ ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ ซึ่งต้องการทดสอบสมมติฐานว่า อิทธิพลของปัจจัย A มีผลหรือไม่ อิทธิพลของปัจจัย B มีผลหรือไม่ อิทธิพลของปัจจัย C มีผลหรือไม่ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ B มีผลหรือไม่ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ C อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย B และ C อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A B และ C หรือเขียนเป็นสมมติฐานได้ดังนี้

ปัจจัยของ A

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \dots, \alpha_i \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

ปัจจัยของ B

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j \quad j = 1, 2, \dots, b$$

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \dots, \beta_j \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

ปัจจัยของ C

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_k \quad k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : \gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \dots, \gamma_k \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

ปัจจัยร่วมของ AB

$$H_0 : \alpha\beta_{11} = \alpha\beta_{12} = \dots, \alpha\beta_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, a : j = 1, 2, \dots, b$$

$$H_1 : \alpha\beta_{11} \neq \alpha\beta_{12} \neq \dots, \alpha\beta_{ij} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

ปัจจัยร่วมของ AC

$$H_0 : \alpha\gamma_{11} = \alpha\gamma_{12} = \dots, \alpha\gamma_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, a : k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : \alpha\gamma_{11} \neq \alpha\gamma_{12} \neq \dots, \alpha\gamma_{ik} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

ปัจจัยร่วมของ BC

$$H_0 : \beta\gamma_{11} = \beta\gamma_{12} = \dots, \beta\gamma_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, b : k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : \beta\gamma_{11} \neq \beta\gamma_{12} \neq \dots, \beta\gamma_{jk} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

ปัจจัยร่วมของ ABC

$$H_0 : \alpha\beta\gamma_{111} = \alpha\beta\gamma_{112} = \dots, \alpha\beta\gamma_{ijk} \quad i = 1, 2, \dots, a : j = 1, 2, \dots, b : k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : \alpha\beta\gamma_{111} \neq \alpha\beta\gamma_{112} \neq \dots, \alpha\beta\gamma_{ijk} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะสมมติว่าปัจจัย A ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์แล้วจะได้ค่า α_i ต่าง ๆ ไม่แตกต่างกันซึ่งเพื่อทดสอบสมมติฐานแล้วก็จะไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ (H_0) เช่นเดียวกันกับปัจจัย B C และปัจจัยร่วมของ AB AC BC และ ABC ก็จะสามารถอธิบายได้ในหลักการเดียวกันในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจะต้องประเมินผลรวมกำลังสอง Sum of square SS ของความผันแปรโดยที่ความผันแปรรวม Sum of square of total SST จะเป็นผลรวมของความผันแปรจากปัจจัย Sum of square of treatment SST_r และความผันแปรของความผิดพลาดของการทดลองหรือปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่ได้ควบคุม Sum of square of error SSE หรือแสดงดังสมการดังนี้

$$SST = SST_r + SSE \quad (2.2)$$

โดย SST_r จะเป็นผลรวมกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยกับค่าเฉลี่ยรวม (μ ซึ่งประมาณด้วย $\bar{y} \dots$) ดังนั้นจึงประกอบด้วยผลรวมกำลังสองที่มาจากอิทธิพลของแต่ละปัจจัยคือ A B C และอิทธิพลร่วมของ AB AC BC และ ABC ซึ่งในทาง

ปฏิบัติจะใช้ตาราง ANOVA ที่ได้จากการคำนวณและวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย

Source of Variation	Degree of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	f-value
Treatment	abc-1	SST_r	$MST_r = \frac{SST_r}{(abc-1)}$	$\frac{MST_r}{MSE}$
A	a-1	SS(A)	$MS(A) = \frac{SS(A)}{(a-1)}$	$\frac{MS(A)}{MSE}$
B	b-1	SS(B)	$MS(B) = \frac{SS(B)}{(b-1)}$	$\frac{MS(B)}{MSE}$
C	c-1	SS(C)	$MS(C) = \frac{SS(C)}{(c-1)}$	$\frac{MS(C)}{MSE}$
AB	(a-1)(b-1)	SS(AB)	$MS(AB) = \frac{SS(AB)}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS(AB)}{MSE}$
AC	(a-1)(c-1)	SS(AC)	$MS(AC) = \frac{SS(AC)}{(a-1)(c-1)}$	$\frac{MS(AC)}{MSE}$
BC	(b-1)(c-1)	SS(BC)	$MS(BC) = \frac{SS(BC)}{(b-1)(c-1)}$	$\frac{MS(BC)}{MSE}$
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	SS(ABC)	$MS(ABC) = \frac{SS(ABC)}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$\frac{MS(ABC)}{MSE}$
Error	(abc)(r-1)	SSE	$MSE = \frac{SSE}{(abc-1)(r-1)}$	
Total	Abcr-1	SST		

จากการที่สัดส่วนของค่าเฉลี่ยความผันแปร f-value มีพฤติกรรมการแจกแจงแบบ F ดังนั้นการวิเคราะห์ว่าอิทธิพลจากแต่ละปัจจัย มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (Significance) หรือไม่ จึงประเมินจากเกณฑ์ของค่า F วิกฤต จาก F_{α, v_1, v_2} เมื่อ v_1 แทน degree of freedom ของค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square, MS) ของตัวตั้ง (Nominator) และ v_2 แทน degree of freedom ของค่า MS ของตัวหาร (Denominator) โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อค่า f-value มีค่ามากกว่าค่า F_{α, v_1, v_2} ที่ระดับความมีนัยสำคัญ (α) ที่กำหนด 0.05

2.6 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Nemchinsky (1998) [12] ได้ทำการทดสอบการไหลของเปลวของลำแสงพลาสมาบริเวณหัวตัดที่ปล่อยออกมาระหว่างการตัด โดยการหาด้วยสมการโมเดลคณิตศาสตร์พบว่าถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลง ของกระแสไฟฟ้า อัตราการไหลของแก๊ส และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหัว หัวตัดจะมีประสิทธิภาพที่ 60-80% ยิ่งหัวตัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ประสิทธิภาพจะยิ่งลดลง

Colt (2002) [13] ได้ทำการศึกษาวิจัยทดสอบการสึกหรอของวัสดุเส้นเปลืองหัวตัด และอิเล็กโทรดที่มีผลต่อคุณภาพในงานตัดคือความหยาบผิวและความกว้างของรอยตัด พบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวตัดทำให้เกิดการทอดยของคุณภาพงานตัดเป็นเส้นตรงเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งก็จะไม่สามารถยอมรับได้เนื่องจากความหยาบผิวของของตัดและความกว้างรอยตัดมีขนาดใหญ่

Peter (2006) [14] ได้ทำการศึกษาตรวจสอบพฤติกรรมของเครื่องพลาสมาโดยการเปลี่ยนขนาดของ เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวตัด อัตราการไหลแก๊ส กระแส อุณหภูมิ และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนกับความกว้างของลำแสงพลาสมาเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมของลำแสงพลาสมาพบว่าอัตราการสึกหรอที่หัวตัดที่กว้างกว่าเดิมจะทำให้อุณหภูมิของพลาสมาลดลง

Colombo1 (2010) [15] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์การทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมของกระแสไฟแรงสูงที่อิเล็กโทรดเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งปรากฏว่ารูปร่างการสึกหรอสึกหรอที่ด้านในของหัวตัดนั้นจะสามารถวิเคราะห์รูปร่างที่สมบูรณ์การสึกหรอได้เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่สูง

Illi (2010) [16] ได้ทำการศึกษาทดลองการตัดสแตนเลส AISI 304 ด้วยเครื่องพลาสมาเพื่อหาค่าความหยาบผิวที่เกิดขึ้นจากโดยกำหนดตัวแปร 3 ตัวคือ ความเร็วในการตัด (mm/min) ความหนา (mm) กระแสไฟฟ้า (A) โดยที่แต่ละตัวแปรมีค่าสองค่าดังตามลำดับ 1000 1800 mm/min 4 6 mm 45 130 A จากผลการทดลองโดยวิเคราะห์จากโปรแกรมพบว่าความหนามีผลต่อความหยาบผิวมากที่สุด ตามมาด้วยความเร็วในการตัด และกระแสไฟ

Begic (2012) [17] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเครื่องพลาสมาโดยมีตัวแปรที่คงที่ คือ กระแสไฟ และความหนา และตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงได้คือ ความดันแก๊สที่ 3-5 บาร์ และความเร็วในการตัด 200-1000 mm/min ซึ่งพบว่าความกว้างของ kerf จะลดลงเมื่อมีความดันของแก๊สมากขึ้น แต่กว้างของ kerf จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อมีการเพิ่มความเร็วในการตัด และความหยาบผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนความดันแก๊สและความเร็วในการตัด โดยหากจะตัดที่ความหนา 5 mm แนะนำว่าไม่ควรที่จะใช้ความเร็วในการตัด 700 mm/min กับความดันแก๊ส 3 bar แต่ควรที่จะใช้ความเร็วในการตัดที่คือ 400-700 mm/min และใช้ความดันแก๊ส 4-5 บาร์

Syazwani1 (2015) [18] ในการตรวจสอบการสึกหรอของหัวตัดนั้นสามารถตรวจสอบได้หลายรูปแบบอย่างเช่น การเจาะหรือตัดดูรูปแบบโปรไฟล์ของหัวตัด หรือการเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไป และการใช้เครื่องมือวัด pin ในการตรวจสอบ อีกวิธีหนึ่งหรือการหลอมเรซินแล้วเจาะดูรูปแบบ จากการทดลองสรุปได้ว่าความยาวของหัวตัด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง มุมของหัวตัด ขนาดของรูหัวตัด ความดัน อัตราการไหลของสารกัดกร่อน มีผลมากที่สุดตามลำดับที่ได้ทดลองมา และรูปแบบการสึกหรอเป็นแบบการกัดกร่อนของหัวตัด

Slătineanu (2017) [19] ได้ทำการศึกษาทดลองโดยตั้งตัวแปร 3 ตัวเพื่อดูความสัมพันธ์ว่าตัวแปรใดมีผลต่อความหยาบผิวมากที่สุดโดยที่ทำการกับวัสดุที่เป็นเหล็กคาร์บอน 1C45 ตัวแปรทั้งสามตัวมีความหนา ความเร็วในการตัด กระแสไฟ โดยที่สามารถแบ่งย่อยได้คือ ความหนาขนาด 4 10 mm ความเร็วในการตัด 1000 1800 mm/min และกระแสไฟ 80 130 พบว่าในวัสดุที่ความหนาเท่ากันแต่กระแสไฟที่มากขึ้นจะให้ความหยาบผิวที่น้อยกว่า และความเร็วในการตัดที่ช้ากว่าก็ให้ความหยาบผิวที่น้อยกว่าเช่นกัน



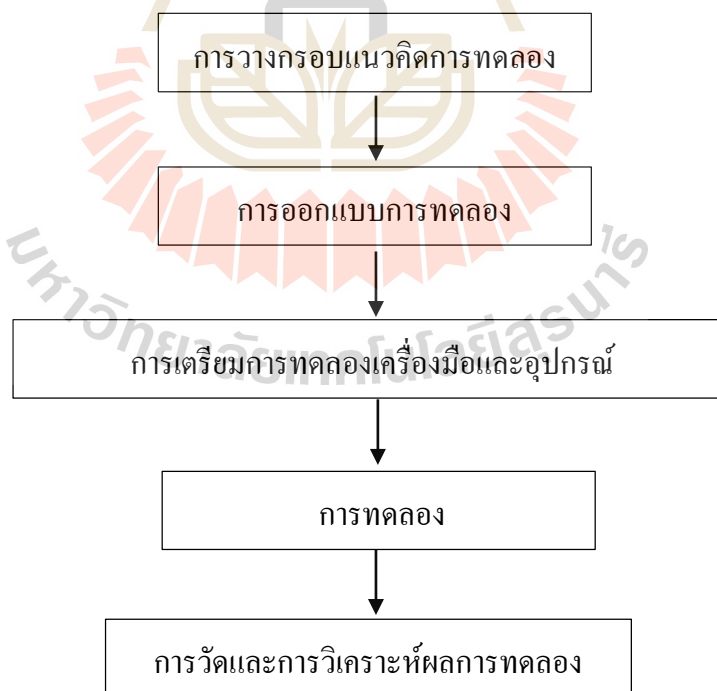
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

บทนี้เสนอวิธีการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสติกในการตัดชิ้นส่วนเหล็กคาร์บอนต่ำ โดยการวางกรอบแนวคิดการทดลอง การออกแบบการทดลอง การเตรียมการทดลองเครื่องมือและอุปกรณ์ ดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง

3.1 การวางกรอบแนวคิดการทดลอง

การวางกรอบแนวคิดการทดลองสำหรับการการตัดแผ่นเหล็ก IRSM-41 ด้วยเครื่องพลาสติกในการศึกษาหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด เพื่อวัดค่าความกว้างของรูหัวตัดดังแสดงรูปที่ 3.1 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการศึกษางานวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

ปัจจัยนำเข้า (INPUT)	ผลลัพธ์ (OUTPUT)	เครื่องมือและอุปกรณ์ (M/C)
<p>ตัวแปรไม่คงที่</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ความเร็วในการตัด 2. ความดันแก๊ส 3. กระแสไฟ <p>ตัวแปรคงที่</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. เครื่องพลาสมา รุ่น Hypertherm powermax 45 xp 2. ขนาดความหนา 10 mm 3. หัวตัดรุ่น 220941 รุ่น 45 A 4. ชิ้นงานขนาด 100×100 mm 	วิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	Digital microscope

3.1.1 กำหนดปัจจัยในการทดลอง

1. ตัวแปรคงที่

- 1.1 เครื่องพลาสมา รุ่น Hypertherm powermax 45 xp
- 1.2 ขนาดความหนาของชิ้นงาน 10 mm
- 1.3 หัวตัดรุ่น 220941 รุ่น 45 A
- 1.4 ชิ้นงานขนาด 100×100 mm

2. ตัวแปรไม่คงที่

- 2.1 ความเร็วในการตัด 200 300 และ 400 mm/min
- 2.2 ความดันแก๊ส 6 7 และ 8 bar
- 2.3 กระแสไฟ 40 42 และ 45 A

3.2 การออกแบบการทดลอง

3.2.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ในการดำเนินงานวิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบในกรณี 3 ปัจจัย 3 ระดับ (Full Factorial Design Factors – Three Level) เป็นการออกแบบที่กำหนดให้มีการ

ทดสอบทุก ๆ ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Combinations) ของปัจจัยทั้งหมด ซึ่งทำให้สามารถประมาณอิทธิพลของปัจจัยต่อ Response ได้ทั้งแบบ Main effect และ Interaction (Montgomery, 2009) การกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในการตั้งค่าใช้งานจริงของการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องพลาสติกที่ส่งผลต่อคุณภาพในงานตัดของเครื่องเพื่อที่จะได้ว่าปัจจัยตัวแปรใดมีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสติก โดยการกำหนดปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยพิจารณาในการทดลอง 3 ปัจจัย 3 ระดับ ดังตารางที่ 3.2

ตัวแปรคงที่

- ความหนาวัสดุ 10 mm
- เส้นรอบรูปในการตัด สี่เหลี่ยม 100×100 mm

ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง

- กระแสไฟ 40 42 45 A
- ความดันแก๊ส 6 7 8 Bar
- ความเร็วในการตัด 200 300 400 mm/min

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Variable Factor	Level			หน่วย	สัญลักษณ์
	1	2	3		
กระแสไฟ	40	42	45	A	A
ความดันแก๊ส	6	7	8	bar	B
ความเร็วในการตัด	200	300	400	mm/min	C

แผนการทดลอง

การทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ปัจจัย 3 ระดับ Full Factorial Design Three Factors – Three Level จำนวนทดลองซ้ำ 3 จำนวนครั้งในการทดลองหาได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{จำนวนครั้งในการทดลอง} = 3^k \times n \quad (3.1)$$

โดยที่ 3 คือ จำนวนระดับของแต่ละปัจจัย

k คือ จำนวนปัจจัยที่พิจารณาในการทดลอง

n คือ จำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ

ดังนั้นจำนวนครั้งในการทดลองเท่ากับ $3^3 \times 3 = 81$ ครั้ง และในการทดลองจะมีสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องคือ

ระดับของปัจจัย A สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1 2 3 แทนด้วย i

ระดับของปัจจัย B สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1 2 3 แทนด้วย j

ระดับของปัจจัย C สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1 2 3 แทนด้วย k

จำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำหรือ Replication แทนด้วย n

ผลจากการทดลองที่ปัจจัย A B และ C ระดับ i j และ k ตามลำดับครั้งที่ n แทน

ด้วย Y_{ijkn}

ข้อมูลจากการทดลองจะสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 3.3 3.4 3.5

และตารางแผนการทดลองจะแสดงได้ตามตารางที่ 3.6



ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกระแสไฟ (A) และปัจจัยความดันแก๊ส (B)

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกระแสไฟ (A) และปัจจัยความดันแก๊ส (B)			
ปัจจัยกระแสไฟ (A)	ปัจจัยความดันแก๊ส (B)		
	1	2	3
1	Y ₁₁₁₁ , Y ₁₁₂₁ , Y ₁₁₃₁ , Y ₁₁₁₂ , Y ₁₁₂₂ , Y ₁₁₃₂ , Y ₁₁₁₃ , Y ₁₁₂₃ , Y ₁₁₃₃	Y ₁₂₁₁ , Y ₁₂₂₁ , Y ₁₂₃₁ , Y ₁₂₁₂ , Y ₁₂₂₂ , Y ₁₂₃₂ , Y ₁₂₁₃ , Y ₁₂₂₃ , Y ₁₂₃₃	Y ₁₃₁₁ , Y ₁₃₂₁ , Y ₁₃₃₁ , Y ₁₃₁₂ , Y ₁₃₂₂ , Y ₁₃₃₂ , Y ₁₃₁₃ , Y ₁₃₂₃ , Y ₁₃₃₃
2	Y ₂₁₁₁ , Y ₂₁₂₁ , Y ₂₁₃₁ , Y ₂₁₁₂ , Y ₂₁₂₂ , Y ₂₁₃₂ , Y ₂₁₁₃ , Y ₂₁₂₃ , Y ₂₁₃₃	Y ₂₂₁₁ , Y ₂₂₂₁ , Y ₂₂₃₁ , Y ₂₂₁₂ , Y ₂₂₂₂ , Y ₂₂₃₂ , Y ₂₂₁₃ , Y ₂₂₂₃ , Y ₂₂₃₃	Y ₂₃₁₁ , Y ₂₃₂₁ , Y ₂₃₃₁ , Y ₂₃₁₂ , Y ₂₃₂₂ , Y ₂₃₃₂ , Y ₂₃₁₃ , Y ₂₃₂₃ , Y ₂₃₃₃
3	Y ₃₁₁₁ , Y ₃₁₂₁ , Y ₃₁₃₁ , Y ₃₁₁₂ , Y ₃₁₂₂ , Y ₃₁₃₂ , Y ₃₁₁₃ , Y ₃₁₂₃ , Y ₃₁₃₃	Y ₃₂₁₁ , Y ₃₂₂₁ , Y ₃₂₃₁ , Y ₃₂₁₂ , Y ₃₂₂₂ , Y ₃₂₃₂ , Y ₃₂₁₃ , Y ₃₂₂₃ , Y ₃₂₃₃	Y ₃₃₁₁ , Y ₃₃₂₁ , Y ₃₃₃₁ , Y ₃₃₁₂ , Y ₃₃₂₂ , Y ₃₃₃₂ , Y ₃₃₁₃ , Y ₃₃₂₃ , Y ₃₃₃₃

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกระแสไฟ (A) และปัจจัยความเร็วในการตัด (C)

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกระแสไฟ (A) และปัจจัยความเร็วในการตัด (C)			
ปัจจัยกระแสไฟ (A)	ปัจจัยความเร็วในการตัด (C)		
	1	2	3
1	Y ₁₁₁₁ , Y ₁₂₁₁ , Y ₁₃₁₁ , Y ₁₁₁₂ , Y ₁₂₁₂ , Y ₁₃₁₂ , Y ₁₁₁₃ , Y ₁₂₁₃ , Y ₁₃₁₃	Y ₁₁₂₁ , Y ₁₂₂₁ , Y ₁₃₂₁ , Y ₁₁₂₂ , Y ₁₂₂₂ , Y ₁₃₂₂ , Y ₁₁₂₃ , Y ₁₂₂₃ , Y ₁₃₂₃	Y ₁₁₃₁ , Y ₁₂₃₁ , Y ₁₃₃₁ , Y ₁₁₃₂ , Y ₁₂₃₂ , Y ₁₃₃₂ , Y ₁₁₃₃ , Y ₁₂₃₃ , Y ₁₃₃₃
2	Y ₂₁₁₁ , Y ₂₂₁₁ , Y ₂₃₁₁ , Y ₂₁₁₂ , Y ₂₂₁₂ , Y ₂₃₁₂ , Y ₂₁₁₃ , Y ₂₂₁₃ , Y ₂₃₁₃	Y ₂₁₂₁ , Y ₂₂₂₁ , Y ₂₃₂₁ , Y ₂₁₂₂ , Y ₂₂₂₂ , Y ₂₃₂₂ , Y ₂₁₂₃ , Y ₂₂₂₃ , Y ₂₃₂₃	Y ₂₁₃₁ , Y ₂₂₃₁ , Y ₂₃₃₁ , Y ₂₁₃₂ , Y ₂₂₃₂ , Y ₂₃₃₂ , Y ₂₁₃₃ , Y ₂₂₃₃ , Y ₂₃₃₃
3	Y ₃₁₁₁ , Y ₃₂₁₁ , Y ₃₃₁₁ , Y ₃₁₁₂ , Y ₃₂₁₂ , Y ₃₃₁₂ , Y ₃₁₁₃ , Y ₃₂₁₃ , Y ₃₃₁₃	Y ₃₁₂₁ , Y ₃₂₂₁ , Y ₃₃₂₁ , Y ₃₁₂₂ , Y ₃₂₂₂ , Y ₃₃₂₂ , Y ₃₁₂₃ , Y ₃₂₂₃ , Y ₃₃₂₃	Y ₃₁₃₁ , Y ₃₂₃₁ , Y ₃₃₃₁ , Y ₃₁₃₂ , Y ₃₂₃₂ , Y ₃₃₃₂ , Y ₃₁₃₃ , Y ₃₂₃₃ , Y ₃₃₃₃

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความดันแก๊ส (B) และปัจจัยความเร็วในการตัด (C)

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความดันแก๊ส (B) และปัจจัยความเร็วในการตัด (C)			
ปัจจัยความดันแก๊ส (B)	ปัจจัยความเร็วในการตัด (C)		
	1	2	3
1	Y ₁₁₁₁ , Y ₂₁₁₁ , Y ₃₁₁₁ , Y ₁₁₁₂ , Y ₂₁₁₂ , Y ₃₁₁₂ , Y ₁₁₁₃ , Y ₂₁₁₃ , Y ₃₁₁₃	Y ₁₁₂₁ , Y ₂₁₂₁ , Y ₃₁₂₁ , Y ₁₁₂₂ , Y ₂₁₂₂ , Y ₃₁₂₂ , Y ₁₁₂₃ , Y ₂₁₂₃ , Y ₃₁₂₃	Y ₁₁₃₁ , Y ₂₁₃₁ , Y ₃₁₃₁ , Y ₁₁₃₂ , Y ₂₁₃₂ , Y ₃₁₃₂ , Y ₁₁₃₃ , Y ₂₁₃₃ , Y ₃₁₃₃
2	Y ₁₂₁₁ , Y ₂₂₁₁ , Y ₃₂₁₁ , Y ₁₂₁₂ , Y ₂₂₁₂ , Y ₃₂₁₂ , Y ₁₂₁₃ , Y ₂₂₁₃ , Y ₃₂₁₃	Y ₁₂₂₁ , Y ₂₂₂₁ , Y ₃₂₂₁ , Y ₁₂₂₂ , Y ₂₂₂₂ , Y ₃₂₂₂ , Y ₁₂₂₃ , Y ₂₂₂₃ , Y ₃₂₂₃	Y ₁₂₃₁ , Y ₂₂₃₁ , Y ₃₂₃₁ , Y ₁₂₃₂ , Y ₂₂₃₂ , Y ₃₂₃₂ , Y ₁₂₃₃ , Y ₂₂₃₃ , Y ₃₂₃₃
3	Y ₁₃₁₁ , Y ₂₃₁₁ , Y ₃₃₁₁ , Y ₁₃₁₂ , Y ₂₃₁₂ , Y ₃₃₁₂ , Y ₁₃₁₃ , Y ₂₃₁₃ , Y ₃₃₁₃	Y ₁₃₂₁ , Y ₂₃₂₁ , Y ₃₃₂₁ , Y ₁₃₂₂ , Y ₂₃₂₂ , Y ₃₃₂₂ , Y ₁₃₂₃ , Y ₂₃₂₃ , Y ₃₃₂₃	Y ₁₃₃₁ , Y ₂₃₃₁ , Y ₃₃₃₁ , Y ₁₃₃₂ , Y ₂₃₃₂ , Y ₃₃₃₂ , Y ₁₃₃₃ , Y ₂₃₃₃ , Y ₃₃₃₃

ตารางที่ 3.6 ตารางแผนการทดลอง

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Experiment
1	40	6	200	Y ₁₁₁₁
2	40	7	200	Y ₁₂₁₁
3	40	8	200	Y ₁₃₁₁
4	42	6	200	Y ₂₁₁₁
5	42	7	200	Y ₂₂₁₁
6	42	8	200	Y ₂₃₁₁
7	45	6	200	Y ₃₁₁₁
8	45	7	200	Y ₃₂₁₁
9	45	8	200	Y ₃₃₁₁
10	40	6	300	Y ₁₁₂₁
11	40	7	300	Y ₁₂₂₁
12	40	8	300	Y ₁₃₂₁
13	42	6	300	Y ₂₁₂₁
14	42	7	300	Y ₂₂₂₁
15	42	8	300	Y ₂₃₂₁
16	45	6	300	Y ₃₁₂₁
17	45	7	300	Y ₃₂₂₁
18	45	8	300	Y ₃₃₂₁
19	40	6	400	Y ₁₁₃₁
20	40	7	400	Y ₁₂₃₁
21	40	8	400	Y ₁₃₃₁
22	42	6	400	Y ₂₁₃₁
23	42	7	400	Y ₂₂₃₁
24	42	8	400	Y ₂₃₃₁

ตารางที่ 3.6 ตารางแผนการทดลอง (ต่อ)

EXP	กระแสไฟ	ความดันแก๊ส	ความเร็ว	Experiment
25	45	6	400	Y ₃₁₃₁
26	45	7	400	Y ₃₂₃₁
27	45	8	400	Y ₃₃₃₁
28	40	6	200	Y ₁₁₁₂
29	40	7	200	Y ₁₂₁₂
30	40	8	200	Y ₁₃₁₂
31	42	6	200	Y ₂₁₁₂
32	42	7	200	Y ₂₂₁₂
33	42	8	200	Y ₂₃₁₂
34	45	6	200	Y ₃₁₁₂
35	45	7	200	Y ₃₂₁₂
36	45	8	200	Y ₃₃₁₂
37	40	6	300	Y ₁₁₂₂
38	40	7	300	Y ₁₂₂₂
39	40	8	300	Y ₁₃₂₂
40	42	6	300	Y ₂₁₂₂
41	42	7	300	Y ₂₂₂₂
42	42	8	300	Y ₂₃₂₂
43	45	6	300	Y ₃₁₂₂
44	45	7	300	Y ₃₂₂₂
45	45	8	300	Y ₃₃₂₂
46	40	6	400	Y ₁₁₃₂
47	40	7	400	Y ₁₂₃₂
48	40	8	400	Y ₁₃₃₂

ตารางที่ 3.6 ตารางแผนการทดลอง (ต่อ)

EXP	กระแสไฟ	ความดันแก๊ส	ความเร็ว	Experiment
49	42	6	400	Y ₂₁₃₂
50	42	7	400	Y ₂₂₃₂
51	42	8	400	Y ₂₃₃₂
52	45	6	400	Y ₃₁₃₂
53	45	7	400	Y ₃₂₃₂
54	45	8	400	Y ₃₃₃₂
55	40	6	200	Y ₁₁₁₃
56	40	7	200	Y ₁₂₁₃
57	40	8	200	Y ₁₃₁₃
58	42	6	200	Y ₂₁₁₃
59	42	7	200	Y ₂₂₁₃
60	42	8	200	Y ₂₃₁₃
61	45	6	200	Y ₃₁₁₃
62	45	7	200	Y ₃₂₁₃
63	45	8	200	Y ₃₃₁₃
64	40	6	300	Y ₁₁₂₃
65	40	7	300	Y ₁₂₂₃
66	40	8	300	Y ₁₃₂₃
67	42	6	300	Y ₂₁₂₃
68	42	7	300	Y ₂₂₂₃
69	42	8	300	Y ₂₃₂₃
70	45	6	300	Y ₃₁₂₃
71	45	7	300	Y ₃₂₂₃
72	45	8	300	Y ₃₃₂₃

ตารางที่ 3.6 ตารางแผนการทดลอง (ต่อ)

EXP	กระแสไฟ	ความดันแก๊ส	ความเร็ว	Experiment
73	40	6	400	Y_{1133}
74	40	7	400	Y_{1233}
75	40	8	400	Y_{1333}
76	42	6	400	Y_{2133}
77	42	7	400	Y_{2233}
78	42	8	400	Y_{2333}
79	45	6	400	Y_{3133}
80	45	7	400	Y_{3233}
81	45	8	400	Y_{3333}

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เมื่อทำการทดลองตามแผนที่แสดงตามตารางที่ 3.3 โดยมี

Y_{ijkn} แทนผลลัพธ์ จากการทดลองที่ระดับ i ของปัจจัยกระแสไฟ (A) ระดับ j ของปัจจัยความดันแก๊ส (B) ระดับ k ของปัจจัย ความเร็วในการตัด (C) และครั้งที่ n ซึ่งจะมีข้อมูลทั้งหมด 81 ตัวอย่างจากการทดลอง โดยที่ปัจจัยทั้งสามส่งผลต่อผลลัพธ์คงที่ (Fixed Effects) และผลลัพธ์จากการทดลองสามารถแทนได้ด้วยตัวแบบทางสถิติ ตามสมการที่ 3.2

$$Y_{ijkn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkn} \quad (3.2)$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, a$

$j = 1, 2, \dots, b$

$k = 1, 2, \dots, c$

$n = 1, 2, \dots, r$

เมื่อ

Y_{ijkn} คือ ค่าของข้อมูลของปัจจัย A ระดับ i ปัจจัย B ระดับ j ปัจจัย C ระดับ k และซ้ำที่ n

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมหรือค่าเฉลี่ยทั้งหมด

- α_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A กระแสไฟ ระดับ i
- β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ความดันแก๊ส ระดับ j
- γ_k คือ อิทธิพลของปัจจัย C ความเร็วในการตัด ระดับ k
- $\alpha\beta_{ij}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย A กระแสไฟ ระดับ i กับปัจจัย B ความดันแก๊ส ระดับที่ j
- $\alpha\gamma_{ik}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย A กระแสไฟ ระดับ i กับปัจจัย C ความเร็วในการตัด ระดับที่ k
- $\beta\gamma_{jk}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย B ความดันแก๊ส ระดับ j กับปัจจัย C ความเร็วในการตัด ระดับที่ k
- $\alpha\beta\gamma_{ijk}$ คือ อิทธิพลของการกระทำร่วมกันระหว่างปัจจัย A กระแสไฟ ระดับ i กับปัจจัย B ความดันแก๊ส ระดับที่ j และปัจจัย C ความเร็วในการตัด ระดับ k
- ε_{ijkn} คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

3.2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง จะสามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสติกในการตัดชิ้นส่วนเหล็กคาร์บอนต่ำ IRSM-41 ที่โดยการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ค่าความเชื่อมั่นที่ 95% เป็นตัวชี้วัด โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

3.2.2.1 อิทธิพลของปัจจัยของกระแสไฟ

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟมีผลต่อการสึกหรอ

โดยที่

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots, \alpha_i$ $i = 1, 2, \dots, a$

$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \dots, \alpha_i$ อย่างน้อย 1 คู่

3.2.2.2 อิทธิพลของปัจจัยของแรงดันแก๊ส

H_0 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สมีผลต่อการสึกหรอ

โดยที่

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots, \beta_j \quad j = 1, 2, \dots, b$$

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \dots, \beta_j \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

3.2.2.3 อิทธิพลของปัจจัยของความเร็วในการตัด

H_0 : อิทธิพลของความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของความเร็วในการตัดมีผลต่อการสึกหรอ

โดยที่

$$H_0 : Y_1 = Y_2 = \dots, Y_k \quad k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : Y_1 \neq Y_2 \neq \dots, Y_k \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

3.2.2.4 อิทธิพลของปัจจัยร่วมของกระแสไฟและแรงดันแก๊ส

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟและแรงดันแก๊สไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟและแรงดันแก๊สมีผลต่อการสึกหรอ

โดยที่

$$H_0 : \alpha\beta_{11} = \alpha\beta_{12} = \dots, \alpha\beta_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, a : j = 1, 2, \dots, b$$

$$H_1 : \alpha\beta_{11} \neq \alpha\beta_{12} \neq \dots, \alpha\beta_{ij} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

3.2.2.5 อิทธิพลของปัจจัยร่วมของกระแสไฟและความเร็วในการตัด

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการตัดมีผลต่อการสึกหรอ

โดยที่

$$H_0 : \alpha Y_{11} = \alpha Y_{12} = \dots, \alpha Y_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, a : k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : \alpha Y_{11} \neq \alpha Y_{12} \neq \dots, \alpha Y_{ik} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

3.2.2.6 ปัจจัยร่วมของแรงดันแก๊สและความเร็วในการตัด

H_0 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สและความเร็วในการตัด ไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สและความเร็วในการตัด มีผลต่อการสึกหรอ

โดยที่

$$H_0 : \beta_{Y11} = \beta_{Y12} = \dots, \beta_{Yjk} \quad j = 1, 2, \dots, b : k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : \beta_{Y11} \neq \beta_{Y12} \neq \dots, \beta_{Yjk} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

3.2.2.7 ปัจจัยร่วมของกระแสไฟ แรงดันแก๊ส และความเร็วในการตัด

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟ, แรงดันแก๊สและความเร็วในการตัด ไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟ, แรงดันแก๊สและความเร็วในการตัด มีผลต่อการสึกหรอ

โดยที่

$$H_0 : \alpha\beta_{Y111} = \alpha\beta_{Y112} = \dots, \alpha\beta_{Yijk} \quad i = 1, 2, \dots, a : j = 1, 2, \dots, b : k = 1, 2, \dots, c$$

$$H_1 : \alpha\beta_{Y111} \neq \alpha\beta_{Y112} \neq \dots, \alpha\beta_{Yijk} \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่}$$

3.3 การทดลอง

3.3.1 การตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยเครื่องตัดพลาสมา

การดำเนินการตัดชิ้นส่วนโลหะคาร์บอนดำมีองค์ประกอบในการดำเนินงานดังนี้
คือ 1. เครื่องกำเนิดพลาสมา 2. ชุดหน้าจอบคุม 3. ชุดหัวตัดและขับเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.2
และขนาดชิ้นงานในการตัด ดังรูปที่ 3.3 และการตัดชิ้นงานมีขั้นตอนการตัดดังแสดงในตารางที่ 3.7



2. ชุดหน้าจอ

1. เครื่องกำเนิด

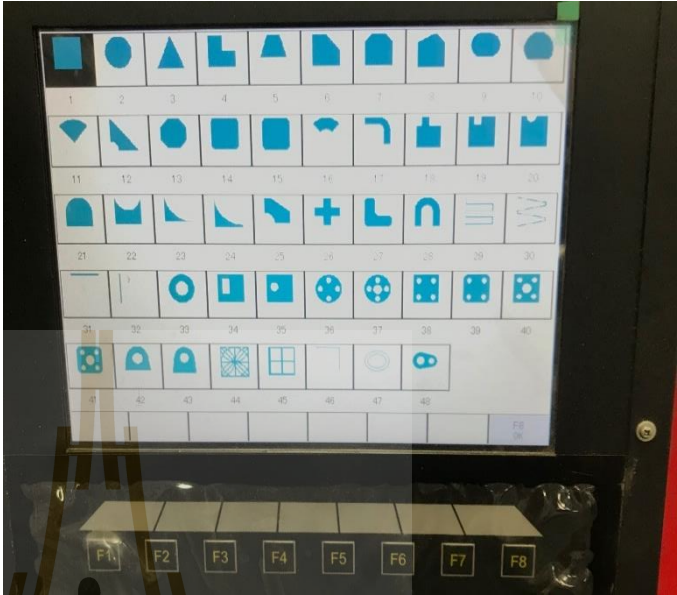
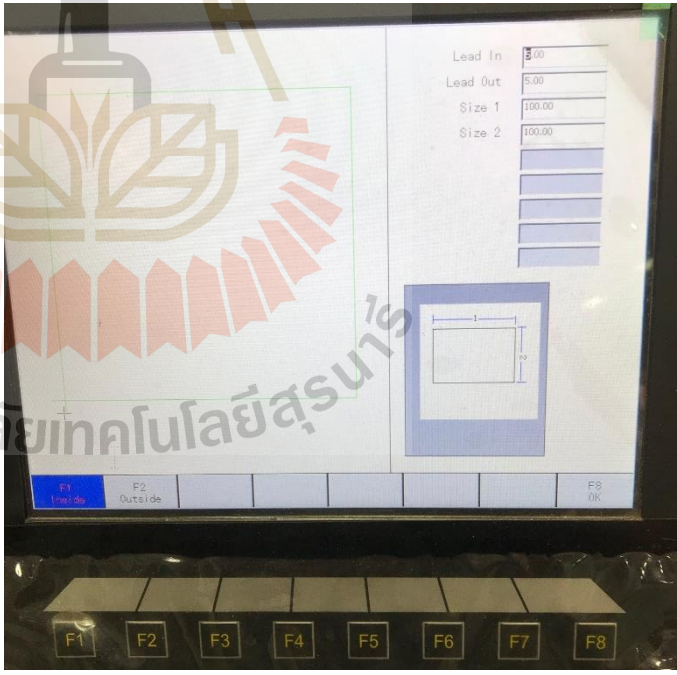
3. ชุดหัวตัดและขับเคลื่อน

รูปที่ 3.2 ชุดเครื่องตัดพลาสมา



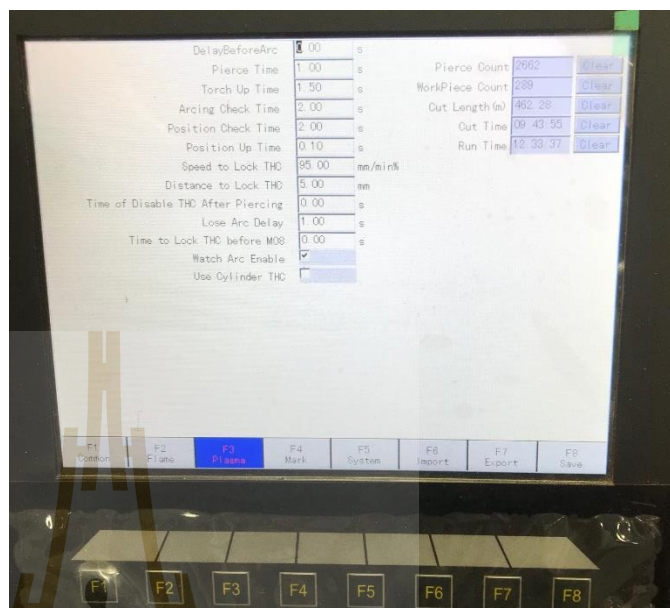
รูปที่ 3.3 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการตัด

ตารางที่ 3.7 ขั้นตอนการควบคุมการตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยเครื่องพลาสมา

<p>ขั้นตอนที่ 1 เลือกรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการตัดด้วยการกดเลือกลูกศรควบคุม 4 ทิศทาง และกด F8 เพื่อยืนยัน</p>	
<p>ขั้นตอนที่ 2 กำหนดขนาดรูปร่างที่ต้องการด้วยการกด F1 เพื่อเลือกชิ้นงานด้านรูปสี่เหลี่ยม และ F2 เพื่อเลือกชิ้นงานเจาะเป็นรูปสี่เหลี่ยม และกด F8 เพื่อยืนยัน</p>	

ตารางที่ 3.7 ขั้นตอนการควบคุมการตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยเครื่องพลาสมา (ต่อ)

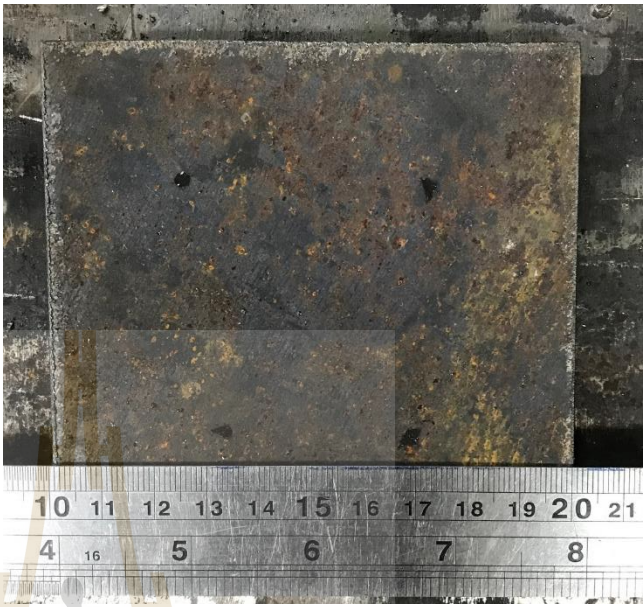
ขั้นตอนที่ 3 กำหนดการตั้งค่าต่าง ๆ หลังจากนั้นกด OK เพื่อยืนยัน



ขั้นตอนที่ 4 ทดลองเดินเครื่องเพื่อยืนยันรูปร่างการเดินของชุดหัวตัดโดยการเลือกเดินเครื่องแบบ Demo หลังจากนั้นกด Start เพื่อยืนยัน



ตารางที่ 3.7 ขั้นตอนการควบคุมการตัดชิ้นส่วนโลหะด้วยเครื่องพลาสมา (ต่อ)

<p>ขั้นตอนที่ 5 กดเลือกเดินเครื่องแบบ Plasma cutting เพื่อตัดชิ้นส่วนรูปร่างตามที่ต้องการ หลังจากนั้นกด Start เพื่อยืนยัน</p>	
---	--

3.4 การวัดและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.1 การวัดขนาดผลการทดลองด้วยเครื่อง Digital microscope

การวัดขนาดนั้นจะใช้กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลในการวัดขนาดและถ่ายภาพโดยที่ใช้เครื่องดิจิทัลยี่ห้อ Keyence รุ่น VHX -700F ดังแสดงในรูป 3.4 และ 3.5 และนำค่าที่ได้จากการวัดบันทึกลงตารางผลการทดลองซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบและเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์

- ตรวจสอบการสายเชื่อมต่อระหว่างชุดคอมพิวเตอร์และชุดเลนส์
- จัดวางชิ้นงานที่ต้องการตรวจบนแผ่นรองใต้ชุดเลนส์

2. วัดขนาดโดยโปรแกรมของเครื่อง Digital microscope และถ่ายรูป



รูปที่ 3.4 กล้อง Digital microscope ยี่ห้อ Keyence รุ่น VHX -700F

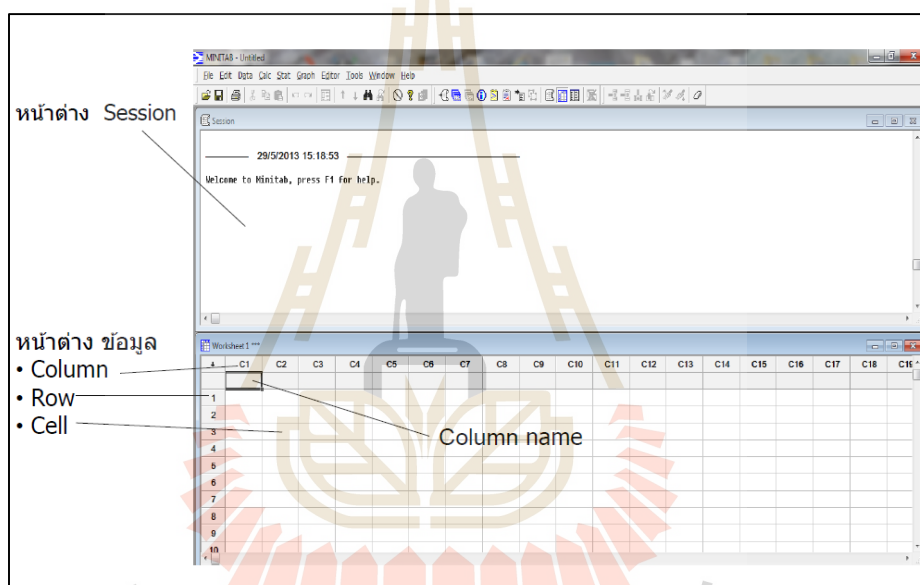


รูปที่ 3.5 รูปแสดงวิธีการวัดโดยการลากจุด 3 จุด

3.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 18

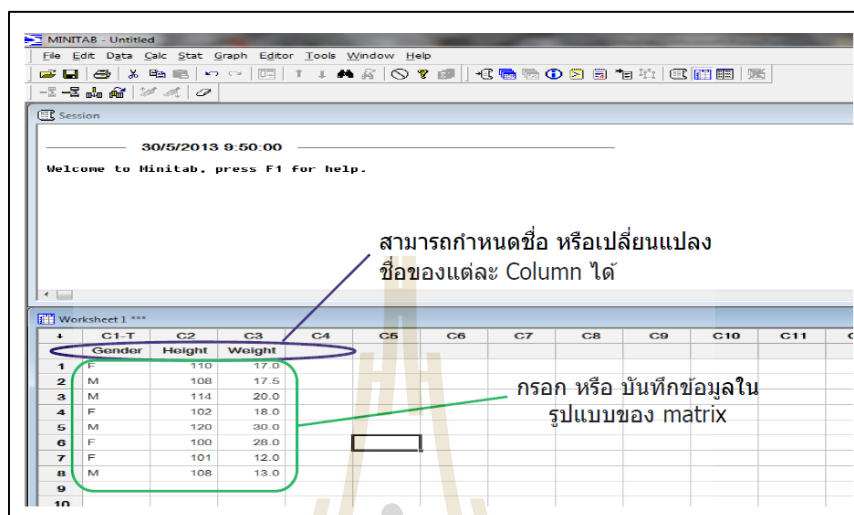
โปรแกรม Minitab 18 จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติสถิติ (Two-Way ANOVA) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางสอง เพื่อศึกษาการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสติกในการตัดชิ้นส่วนเหล็กคาร์บอนต่ำ IRSM-41 ซึ่งจะศึกษาถึงกระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด ซึ่งมีหลักการและขั้นตอนหลักดังนี้

1. เริ่มจากคลิกปุ่มบนวินโดวส์เลือก Start > All Programs > Minitab Solutions > Minitab 18 Statistical Software English ดังแสดงในรูปที่ 3.6



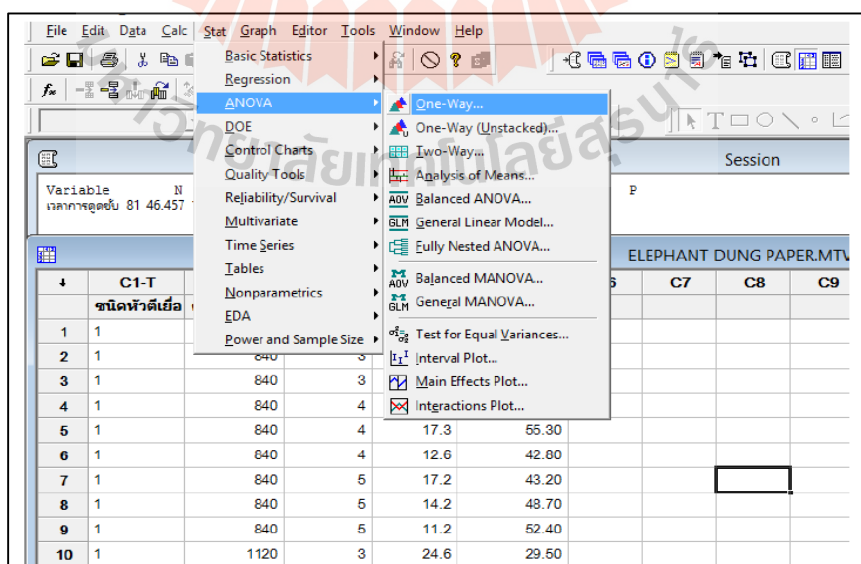
รูปที่ 3.6 หน้าต่างเริ่มต้น โปรแกรม Minitab

2. ป้อนข้อมูลเข้าสู่เวิร์กชีท เป็นการนำข้อมูลเข้าสู่เวิร์กชีทโดยอาจป้อนจากแป้นพิมพ์หรือเลือกจาก Excel, Access หรือ Text ดังแสดงในรูปที่ 3.7



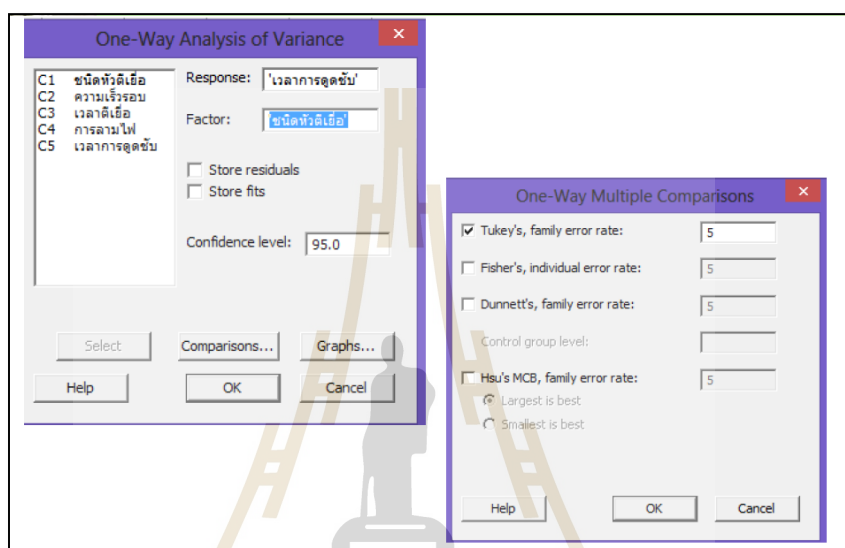
รูปที่ 3.7 การกรอกและบันทึกข้อมูลใน Worksheet

3. ทำการเลือกฟังก์ชันทางสถิติในการวิเคราะห์ เช่น ANOVA, Statistical Quality Tools, Simulation and Distribution เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.8

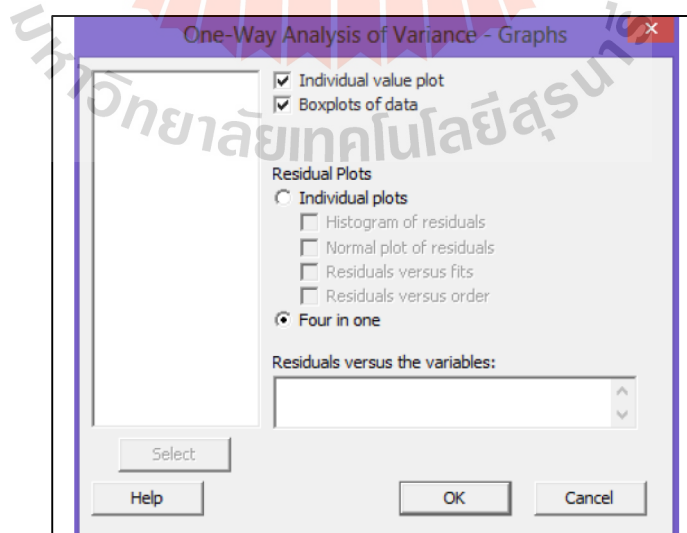


รูปที่ 3.8 การเลือกใช้ฟังก์ชันของโปรแกรม

4. รายละเอียดของการวิเคราะห์ ANOVA ที่เลือก ปกติการตั้งค่าเริ่มต้นของโปรแกรม เป็นค่าที่มีการใช้ทั่วไปแล้ว เมื่อใส่ข้อมูลครบถ้วนตามที่โปรแกรมต้องการแล้วสามารถข้ามไปได้ หรือในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าดังกล่าว เช่น ค่าความเชื่อมั่น 95% เป็น 99% การสร้างกราฟ หรือจะเป็นการสั่งให้โปรแกรมแสดงค่าหรือเก็บค่าใด ๆ ที่เราต้องการ เป็นต้นดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10

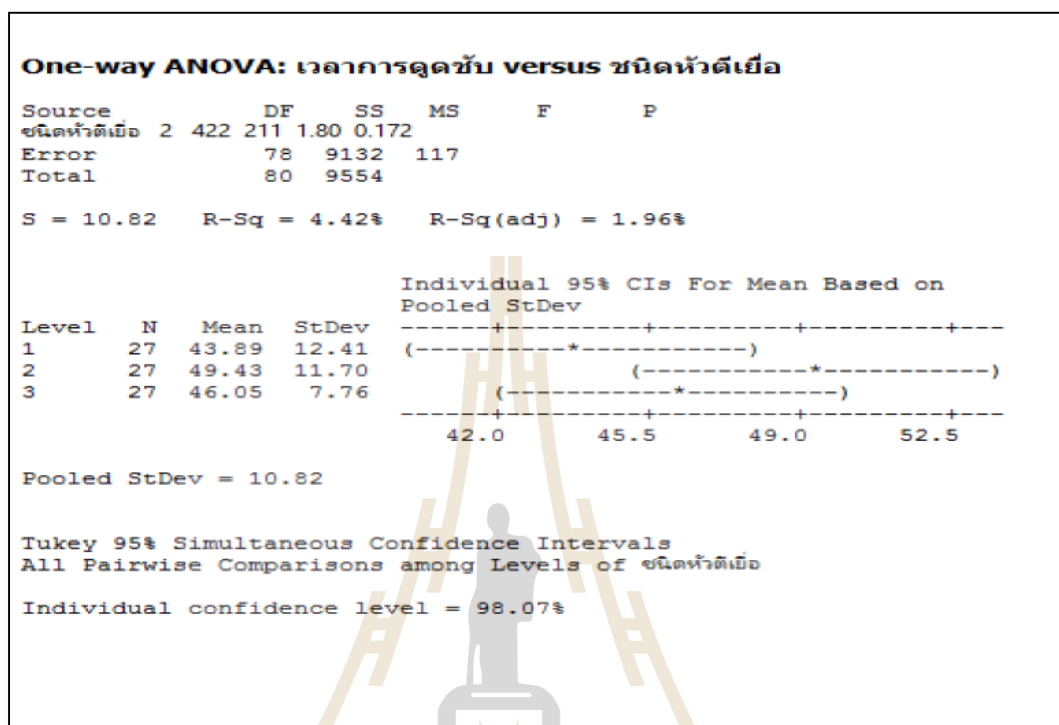


รูปที่ 3.9 การปรับเปลี่ยนการตั้งค่า



รูปที่ 3.10 การตั้งค่าการแสดงผลกราฟ

5. เป็นการจัดการกับผลการประมวลผลที่โปรแกรม Minitab ดำเนินการให้ซึ่งจะออกมาใน 2 รูปแบบคือ ผลทางตัวเลขหรือตัวอักษรและกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การแสดงผลการประมวลผลของโปรแกรม Minitab


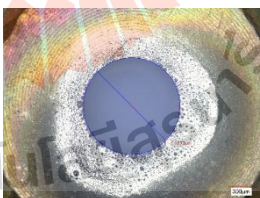
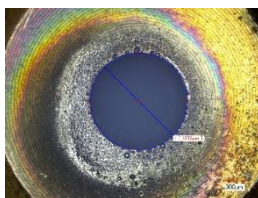
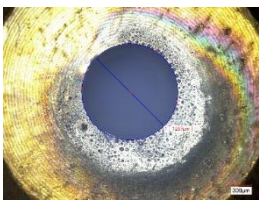
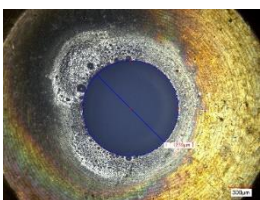
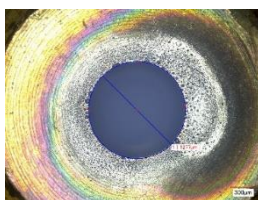
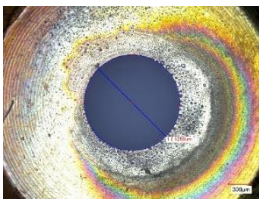
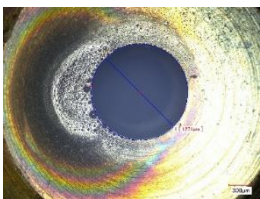
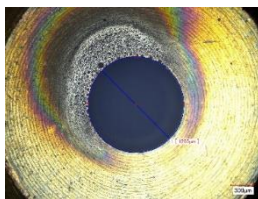
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

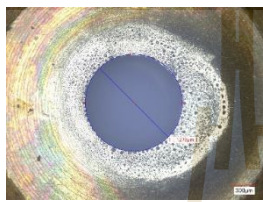
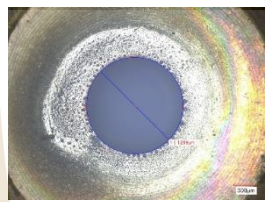
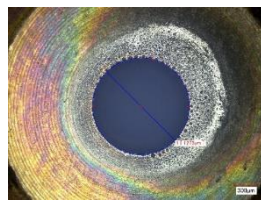
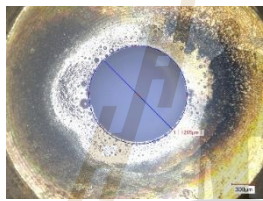
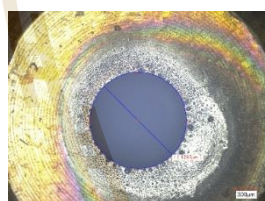
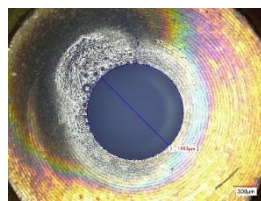
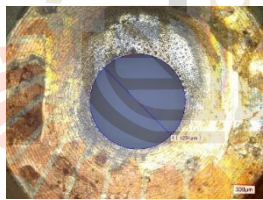
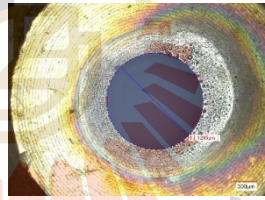
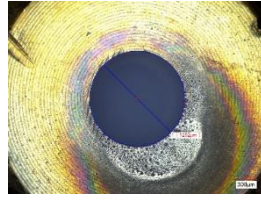
บทนี้เสนอผลการทดลองการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาของความสัมพัทธ์ระหว่าง กระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด เพื่อนำมาวิเคราะห์อิทธิพลของที่มีต่อความสึกหรอที่เกิดขึ้นที่หัวตัดเครื่องพลาสมา

4.1 ผลการทดลองถ่ายภาพการวัดขนาดของหัวตัดที่ด้วยเครื่องดิจิทัลไมโครสโคป

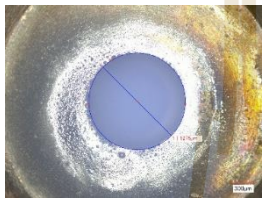
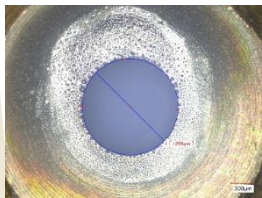
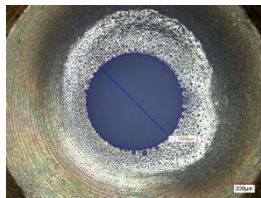
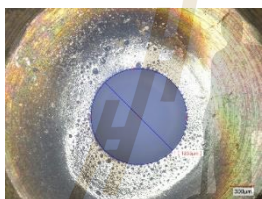
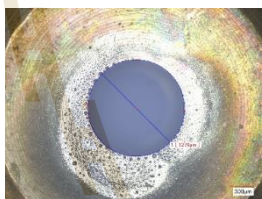
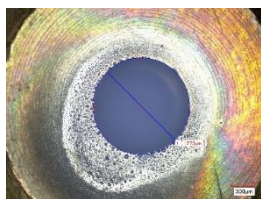
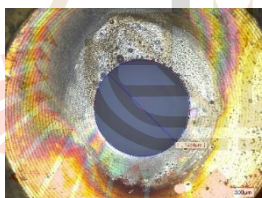
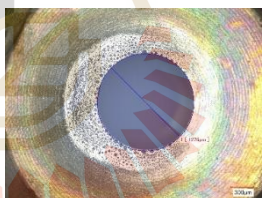
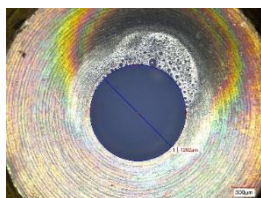
ตารางที่ 4.1 แสดงรูปหัวตัดที่ผ่านการตัดชิ้นงานมาแล้วในแต่ละปัจจัย

ปัจจัย A กระแสไฟ (Ampere) 40					
ปัจจัย B ความดันแก๊ส (Bar)	6		7		8
จำนวนครั้ง การทดลอง	n1		n1		n1
ปัจจัย C ความเร็วใน การตัด (mm/min)	200				
	300				
	400				

ตารางที่ 4.1 แสดงรูปหัวตัดที่ผ่านการตัดชิ้นงานมาแล้วในแต่ละปัจจัย (ต่อ)

ปัจจัย A กระแสไฟ (Ampere) 42						
ปัจจัย B ความดันแก๊ส (Bar)	6		7		8	
จำนวนครั้ง การทดลอง	n1		n1		n1	
ปัจจัย C ความเร็วใน การตัด (mm/min)	200					
	300					
	400					

ตารางที่ 4.1 แสดงรูปหัวตัดที่ผ่านการตัดชิ้นงานมาแล้วในแต่ละปัจจัย (ต่อ)

ปัจจัย A กระแสไฟ (Ampere) 45				
ปัจจัย B ความดันแก๊ส (Bar)	6		7	8
จำนวนครั้ง การทดลอง	n1		n1	n1
ปัจจัย C ความเร็วใน การตัด (mm/min)	200			
	300			
	400			

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการวัดขนาดของหัวตัดที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัย A กระแสไฟ (Ampere)		40											
ปัจจัย B ความดันแก๊ส (Bar)		6				7				8			
จำนวนครั้งการทดลอง		n1	n2	n3	D	n1	n2	n3	D	n1	n2	n3	D
ปัจจัย C ความเร็วในการตัด (mm/min)	200	1.292	1.270	1.280	1.281	1.307	1.273	1.270	1.272	1.296	1.276	1.262	1.278
	300	1.300	1.267	1.267	1.278	1.295	1.259	1.276	1.277	1.305	1.277	1.265	1.271
	400	1.294	1.259	1.293	1.282	1.294	1.271	1.267	1.277	1.292	1.265	1.272	1.276



ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการวัดขนาดของหัวตัดที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

ปัจจัย A กระแสไฟ (Ampere)		42											
ปัจจัย B ความดันแก๊ส (Bar)		6				7				8			
จำนวนครั้งการทดลอง		n1	n2	n3	D	n1	n2	n3	D	n1	n2	n3	D
ปัจจัย C ความเร็วในการตัด (mm/min)	200	1.314	1.278	1.276	1.277	1.299	1.269	1.274	1.281	1.307	1.273	1.289	1.281
	300	1.298	1.295	1.267	1.287	1.291	1.267	1.263	1.274	1.304	1.263	1.264	1.277
	400	1.287	1.251	1.285	1.286	1.296	1.265	1.262	1.274	1.298	1.252	1.268	1.283



ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการวัดขนาดของหัวตัดที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

ปัจจัย A กระแสไฟ (Ampere)		45											
ปัจจัย B ความดันแก๊ส (Bar)		6				7				8			
จำนวนครั้งการทดลอง		n1	n2	n3	D'	n1	n2	n3	D	n1	n2	n3	D
ปัจจัย C ความเร็วในการตัด (mm/min)	200	1.304	1.275	1.281	1.287	1.314	1.266	1.274	1.270	1.303	1.269	1.284	1.285
	300	1.299	1.263	1.265	1.276	1.285	1.270	1.271	1.275	1.305	1.273	1.276	1.275
	400	1.290	1.264	1.267	1.274	1.302	1.276	1.264	1.281	1.301	1.262	1.262	1.275

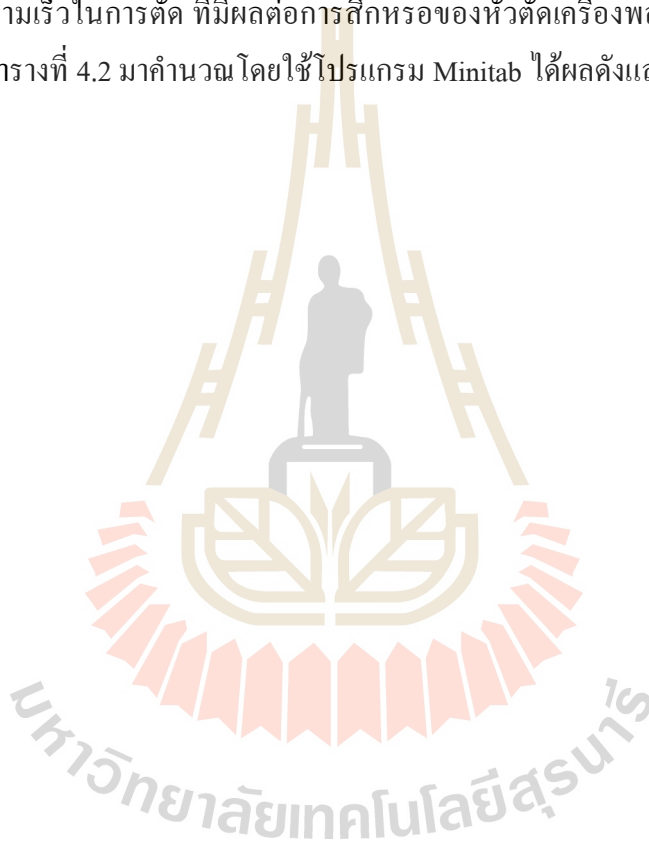


4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

อิทธิพลของกระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด ที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดในเครื่องตัดพลาสมา จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 แสดงผลการบันทึกข้อมูลของขนาดหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ผ่านการตัดด้วยปัจจัยระดับต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดของหัวตัดที่มีนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ Minitab 18

4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน Two Way ANOVA

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Two-Way ANOVA) เพื่อศึกษากระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด ที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมา ซึ่งสามารถนำผลการทดลองในตารางที่ 4.2 มาคำนวณโดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



Factor Information

Factor	Levels	Values
Current amp	3	40 42 45
Gas pressure	3	6 7 8
Cutting speed	3	200 300 400

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	0.007750	0.000298	1.27	0.226
Linear	6	0.003100	0.000517	2.20	0.057
Current amp	2	0.001670	0.000835	3.56	0.035
Gas pressure	2	0.000499	0.000250	1.06	0.352
Cutting speed	2	0.000931	0.000465	1.98	0.148
2-Way Interactions	12	0.003455	0.000288	1.23	0.289
Current amp*Gas pressure	4	0.000967	0.000242	1.03	0.400
Current amp*Cutting speed	4	0.002061	0.000515	2.20	0.082
Gas pressure*Cutting speed	4	0.000427	0.000107	0.46	0.768
3-Way Interactions	8	0.001195	0.000149	0.64	0.743
Current amp*Gas pressure*Cutting speed	8	0.001195	0.000149	0.64	0.743
Error	54	0.012669	0.000235		
Total	80	0.020419			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.0153168	37.96%	8.08%	0.00%

รูปที่ 4.1 แสดงตาราง ANOVA ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 4.3 ตารางการวิเคราะห์ ANOVA

Source of variation	Sum of squares (SS)	Degree of freedom	Mean square (MS)	F_0	$F_{\alpha, v1, v2}$	P-value
Current amp (A)	0.00167	2	0.000835	3.56	3.15	0.035
Gas pressure (B)	0.000499	2	0.00025	1.06	3.15	0.352
Cutting speed (C)	0.000931	2	0.000465	1.98	3.15	0.148
Current amp*Gas pressure (AB)	0.000967	4	0.000242	1.03	2.53	0.4
Current amp*Cutting speed (AC)	0.002061	4	0.000515	2.20	2.53	0.082
Gas pressure*Cutting speed (BC)	0.000427	4	0.000107	0.46	2.53	0.768
Current amp*Gas pressure*Cutting speed (ABC)	0.001195	8	0.000149	0.64	2.10	0.743
Error	0.012669	54	0.000235			
Total	0.020419	80				

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 4.1 สามารถนำสัดส่วนค่าเฉลี่ยความผันแปร F_0 มีพฤติกรรมที่อธิบายและหาค่าได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ว่าอิทธิพลจากปัจจัยของกระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด มีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยการประเมินจากเกณฑ์ของ

ค่า Fวิกฤต คือ F_{α, v_1, v_2} เมื่อ V_1 แทน Degree of freedom ของค่ากำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย (Mean square) ของตัวตั้ง และ V_2 แทน Degree of freedom ของค่า Error ซึ่งค่า F สามารถหาค่าได้จากการใช้ตาราง Percentage point of the F Distribution แล้วนำมาหาค่าเปรียบเทียบกับตารางการวิเคราะห์ ANOVA ที่ 4.3 ซึ่งต้องการทดสอบสมมติฐานว่า อิทธิพลของกระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัดมีผลต่อการสึกหรอหรือไม่ โดยการใช้การทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผลที่มีนัยสำคัญ 0.05 เป็นตัวชี้วัดโดยที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ F_0 มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} ซึ่งจะมีการทดสอบสมมติฐานดังนี้

4.2.1.1 อิทธิพลร่วมระหว่างของปัจจัย (ABC) : กระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด มีผลหรือไม่

สมมุติฐานคือ

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟ แรงดันแก๊สและความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟ แรงดันแก๊สและความเร็วในการตัดมีผลต่อการสึกหรอ

ยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า F_0 จากการคำนวณแสดงตามตารางที่ 4.3 $F_0 = 0.64$ น้อยกว่า ค่า $F_{0.05, 8, 54}$ ซึ่งเปิดได้จากตารางภาคผนวก ข $F_{0.05, 8, 54} = 2.1$ อธิบายได้ว่า อิทธิพลของกระแสไฟ แรงดันแก๊สและความเร็วในการตัด ไม่มีผลต่อการสึกหรอ

4.2.1.2 อิทธิพลร่วมระหว่างของปัจจัย (AB) : กระแสไฟและความดันแก๊สมีผลหรือไม่

สมมุติฐานคือ

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟและแรงดันแก๊สไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟและแรงดันแก๊สมีผลต่อการสึกหรอ

ยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า F_0 จากการคำนวณแสดงตามตารางที่ 4.3 $F_0 = 1.03$ น้อยกว่า ค่า $F_{0.05, 4, 54}$ เปิดได้จากตารางภาคผนวก ข $F_{0.05, 4, 54} = 2.53$ อธิบายได้ว่า อิทธิพลของกระแสไฟและแรงดันแก๊สไม่มีผลต่อการสึกหรอ

4.2.1.3 อิทธิพลร่วมระหว่างของปัจจัย (AC) : กระแสไฟและความเร็วในการตัดมีผลหรือไม่

สมมุติฐานคือ

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการตัดมีผลต่อการสึกหรอ

ยอมรับสมมุติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า F_0 จากการคำนวณแสดงตามตารางที่ 4.3 $F_0 = 2.20$ น้อยกว่า ค่า $F_{0.05,4,54}$ เปิดได้จากตารางภาคผนวก ข $F_{0.05,4,54} = 2.53$ อธิบายได้ว่า อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

4.2.1.4 อิทธิพลร่วมระหว่างของปัจจัย (BC) : ความดันแก๊สและความเร็วในการตัดมีผลหรือไม่

สมมุติฐานคือ

H_0 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สและความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สและความเร็วในการตัดมีผลต่อการสึกหรอ

ยอมรับสมมุติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า F_0 จากการคำนวณแสดงตามตารางที่ 4.3 $F_0 = 0.46$ น้อยกว่า ค่า $F_{0.05,4,54}$ เปิดได้จากตารางภาคผนวก ข $F_{0.05,4,54} = 2.53$ อธิบายได้ว่า อิทธิพลของแรงดันแก๊สและความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

4.2.1.5 อิทธิพลของปัจจัย (A) : กระแสไฟมีผลหรือไม่

สมมุติฐานคือ

H_0 : อิทธิพลของกระแสไฟไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของกระแสไฟมีผลต่อการสึกหรอ

ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า F_0 จากการคำนวณแสดงตามตาราง ที่ 4.3 $F_0 = 3.56$ มีค่ามากกว่า ค่า $F_{0.05,2,54}$ เปิดได้จากตารางภาคผนวก ข $F_{0.05,2,54} = 3.15$ อธิบายได้ว่า อิทธิพลของกระแสไฟมีผลต่อการสึกหรอ

4.2.1.6 อิทธิพลของปัจจัย (B) : ความดันแก๊สมีผลหรือไม่

สมมุติฐานคือ

H_0 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของแรงดันแก๊สมีผลต่อการสึกหรอ

ยอมรับสมมุติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า F_0 จากการคำนวณแสดงตามตารางที่ 4.3 $F_0 = 1.06$ น้อยกว่า ค่า $F_{0.05,2,54}$ เปิดได้จากตารางภาคผนวก ข $F_{0.05,2,54} = 3.15$ อธิบายได้ว่าอิทธิพลของแรงดันแก๊สไม่มีผลต่อการสึกหรอ

4.2.1.7 อิทธิพลของปัจจัย (C) : ความเร็วในการตัดมีผลหรือไม่

สมมุติฐานคือ

H_0 : อิทธิพลของความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

H_1 : อิทธิพลของความเร็วในการตัดมีผลต่อการสึกหรอ

ยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า F_0 จากการคำนวณแสดงตามตาราง ที่ 4.3 $F_0 = 1.98$ น้อยกว่า ค่า $F_{0.05,2,54}$ เปิดได้จากตารางภาคผนวก ข $F_{0.05,2,54} = 3.15$ อธิบายได้ว่า อิทธิพลของความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรอ

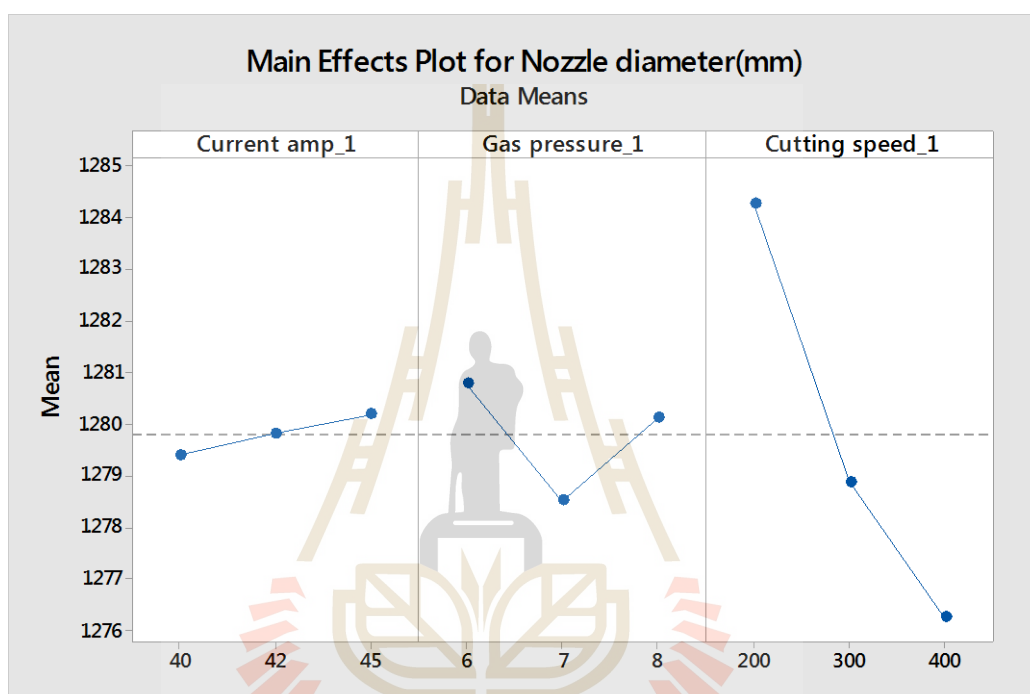
จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย Two way ANOVA ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสึกหรอของขนาดหัวตัดเครื่องพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญคือ ปัจจัยของกระแสไฟ ดังแสดงใน 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปการทดสอบสมมติฐานต่าง ๆ

อิทธิพลที่ทดสอบ	F_0	$F_{\alpha,v1,v2}$	H_0
Current amp (A)	3.56	3.15	ปฏิเสธ H_0
Gas pressure (B)	1.06	3.15	ยอมรับ H_0
Cutting speed (C)	1.98	3.15	ยอมรับ H_0
Current amp*Gas pressure (AB)	1.03	2.53	ยอมรับ H_0
Current amp*Cutting speed (AC)	2.2	2.53	ยอมรับ H_0
Gas pressure*Cutting speed (BC)	0.46	2.53	ยอมรับ H_0
Current amp*Gas pressure*Cutting speed (ABC)	0.64	2.1	ยอมรับ H_0

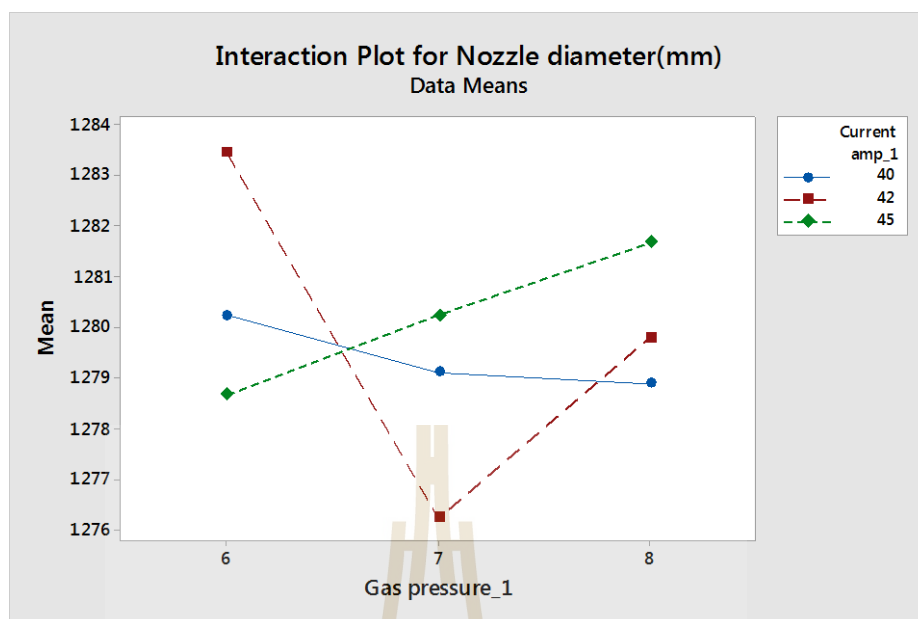
4.2.2 วิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อขนาดของหัวตัด

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยตาราง ANOVA แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของหัวตัดเครื่องพลาสมาอย่างมีนัยสำคัญนั้นคือ กระแสไฟ เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟระหว่างหัวตัดกับระดับปัจจัยของปัจจัยหลักจะแสดงให้เห็นผลของอิทธิพลในลักษณะเชิงเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.2

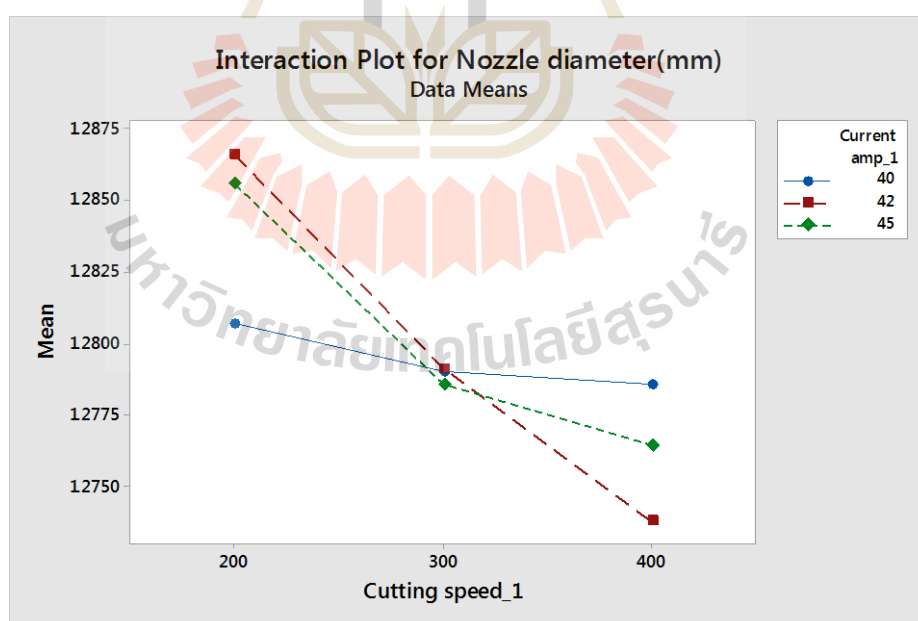


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของปัจจัยหลัก

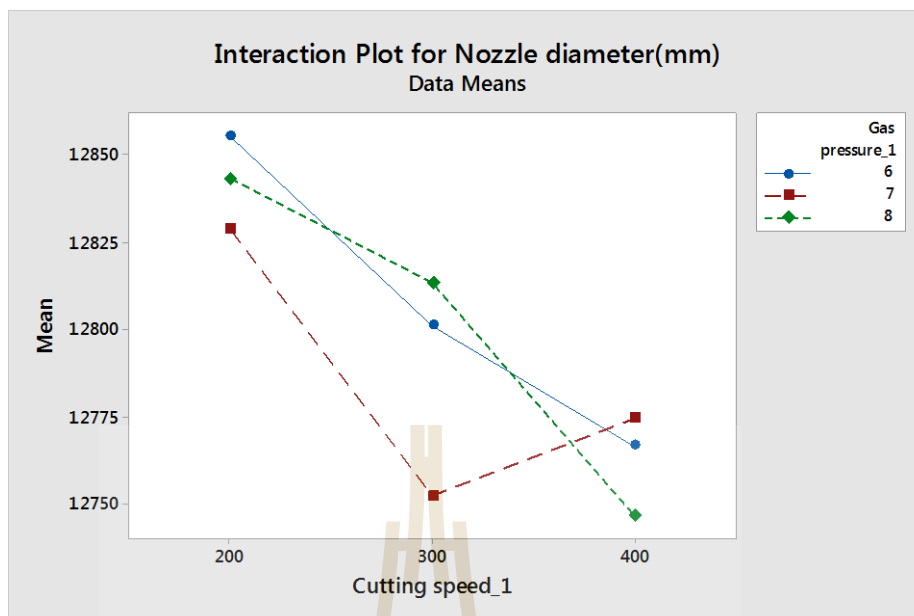
พิจารณากราฟในรูปที่ 4.2 พบว่ากราฟแสดงให้เห็นผลของอิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการตัดเป็นเชิงเส้นตรงในลักษณะที่แปรผกผันกัน แปรผลได้ว่า เมื่อปริมาณกระแสไฟเพิ่มขึ้น ขนาดของการสึกหรอของหัวตัดจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วในการตัดขนาดการสึกหรอจะมีขนาดลดลงเมื่อความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้น ส่วนขนาดการสึกหรอของหัวตัดเมื่อเปรียบเทียบกับความดันแก๊สจะพบว่า มีลักษณะลดลงและเพิ่มขึ้นไม่มีความแน่นอนไม่สามารถคาดการณ์เมื่อความดันเพิ่มขึ้นหรือลดลง



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของอิทธิพลร่วมระหว่างกระแสไฟและความดันแก๊ส



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของอิทธิพลร่วมระหว่างกระแสไฟและความเร็วในการตัด

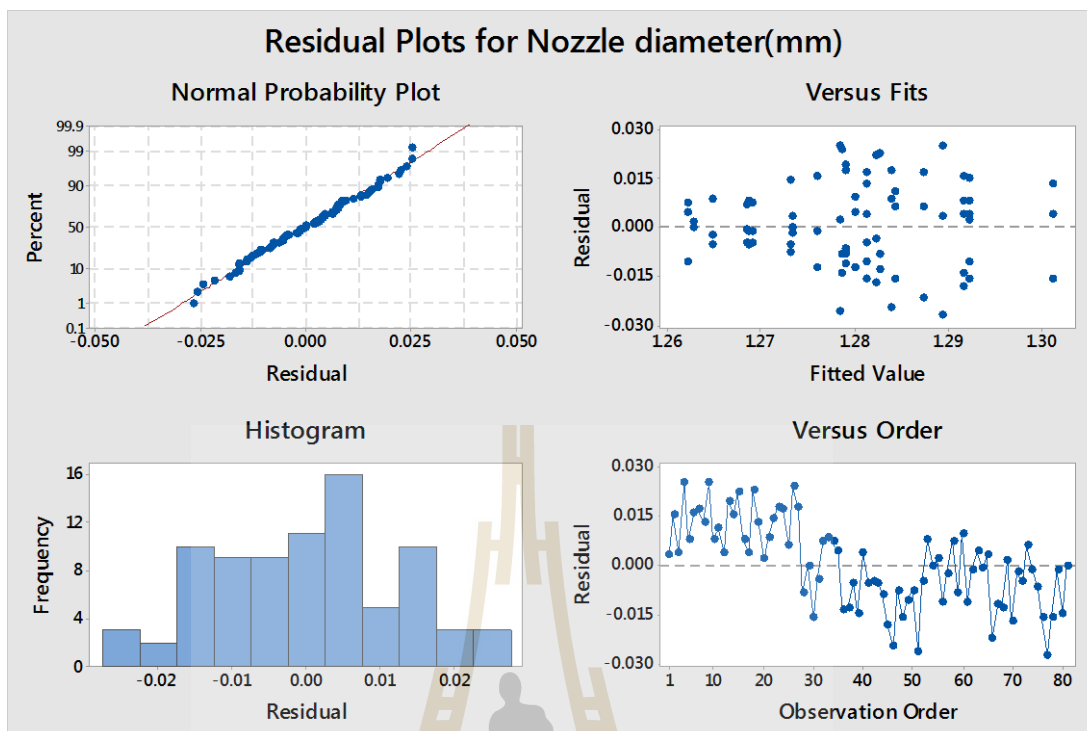


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงขนาดของหัวตัดกับระดับปัจจัยของอิทธิพลร่วมระหว่างความดันแก๊สและความเร็วในการตัด

เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 4.3 4.4 4.5 พบว่ากราฟแสดงให้เห็นอิทธิพลของการกระทำร่วมกันของทั้งกระแสไฟและความดันแก๊ส หรือกระแสไฟและความเร็วในการตัด รวมไปถึงความดันแก๊สและความเร็วในการตัด ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มว่าปัจจัยทุกปัจจัยมีการกระทำร่วมกันต่อการสึกหรอของหัวตัด

4.2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองโดยการนำข้อมูลมาแสดงในกราฟ 4 กราฟด้วยโปรแกรม Minitab คือกราฟ Normal probability กราฟ Versus fits กราฟแท่ง Histogram และกราฟ Versus order ซึ่งผลการตรวจสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน Two way ANOVA ของขนาดหัวตัดที่เกิดจากการสึกหรอ

จากรูปที่ 4.6 พบว่ากราฟ Normal probability แสดงการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของ Residual มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ยกเว้นช่วงเริ่มต้นและช่วงปลายของกราฟที่มีการกระจายตัวอยู่ห่างจากแนวเส้น แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมของข้อมูลพบว่าอยู่ในแนวเส้น จึงทำให้ประมาณค่าได้ว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ กราฟ Histogram พบว่ามีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ ค่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนกราฟ Versus fits มีการกระจายตัวในด้านบวกและลบอย่างสมดุลและกราฟ Versus order ก็มีการกระจายตัวอย่างสมดุล แสดงว่าข้อมูลให้เห็นว่ากลุ่มของตัวอย่างการทดลองมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติแสดงว่าข้อมูลการศึกษาอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

4.2.4 การตรวจสอบความผันแปรจากการวัดค่า

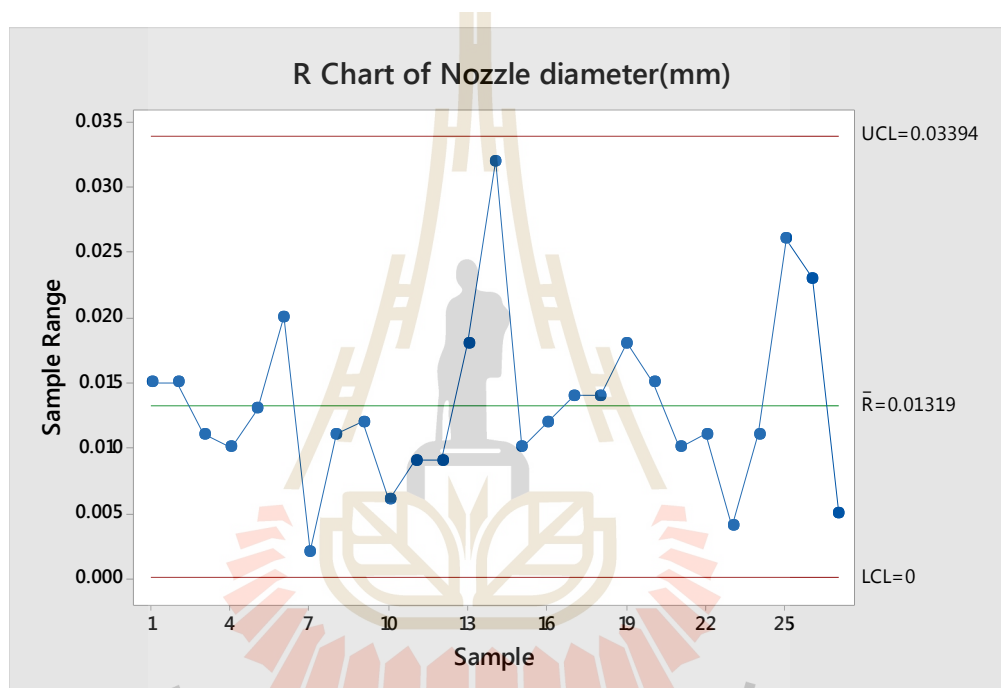
การตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นด้วยการพิจารณาการค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยใช้แผนภูมิควบคุมค่า R char ซึ่งจะใช้ในการวัดความผันแปรของข้อมูล หากค่าพิสัยที่ได้มีค่าน้อย (ความผันแปรต่ำ) นั่นก็จะแสดงให้เห็นว่ากระบวนการทดลองคงที่ โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะได้ผลการทดลองที่มีความเที่ยงตรงมาก

ผลจากการทดลอง สามารถนำมาคำนวณหาค่าพิสัย (R) และค่าพิสัยเฉลี่ย (\bar{R}) โดยการใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมค่าพิสัย

$$LCL = R_{\text{เฉลี่ย}} \times D_3 = 0.01319 \times 0 = 0$$

$$CL = R_{\text{เฉลี่ย}} = 0.01319$$

$$UCL = R_{\text{เฉลี่ย}} \times D_4 = 0.01319 \times 2.574 = 0.03394$$



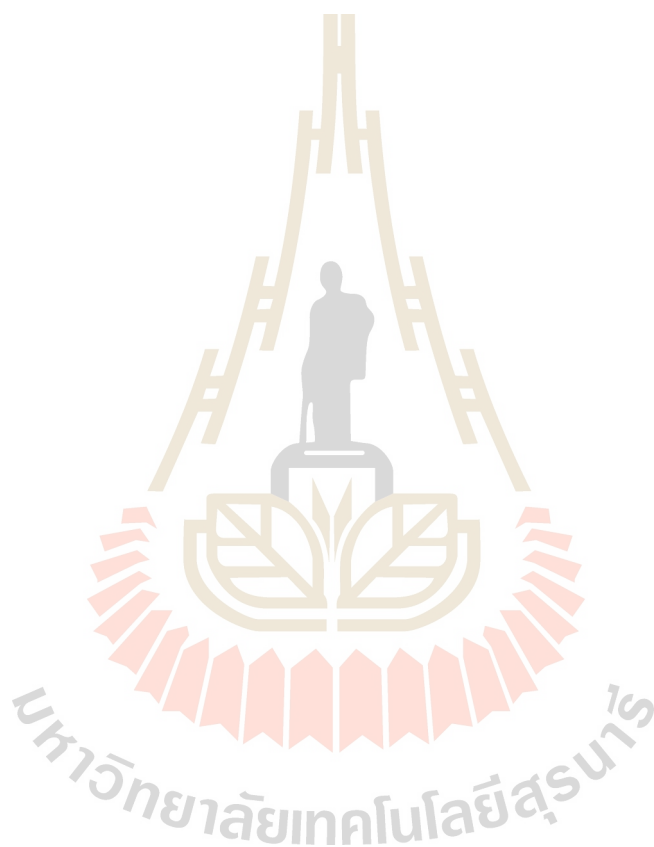
รูปที่ 4.7 แผนภูมิควบคุมค่าพิสัย

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่าค่าการกระจายตัวของค่าพิสัยทุกค่าอยู่ในขอบเขตการควบคุมทั้งหมด ถึงจะมีค่าความแตกต่างที่กระจายตัวแต่ก็อยู่ในกลุ่มประชากรเดียวกัน

4.2.5 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Two way ANOVA และวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยพบว่า ปัจจัยของกระแสไฟ (Current ampere) มีผลต่อการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญโดยที่ขนาดความกว้างของหัวตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟ โดยที่ความดันแก๊สและความเร็วในการตัดไม่มีผลต่อการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญและหากความดันที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นก็ไม่สามารถที่จะอธิบายแนวโน้มของค่าความกว้างของหัวตัดได้ส่วนความเร็วในการ

ตัดจะมีแนวโน้มที่ขนาดความกว้างของหัวตัดจะลดลงเมื่อมีความเร็วในการตัดที่เพิ่มขึ้นและจากวิเคราะห์ การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่าข้อมูลของตัวอย่างการทดลองมีการกระจายตัวเป็นปกติ และการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นด้วยการพิจารณาการกระจายของข้อมูลพบว่าค่าพิสัยที่ได้มีความผันแปรค่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการทดลองมีความเที่ยงตรง



บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากข้อมูลอันเป็นผลของการทดลองที่ได้วิเคราะห์เชิงสถิติในบทที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 อิทธิพลของกระแสไฟ (Current ampere) ความดันแก๊ส (Gas pressure) และความเร็วในการตัด (Cutting speed) ผลต่อการสึกหรอของหัวตัด (Nozzle wear) ในการตัดด้วยพลาสมา

จากการศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟ (Current ampere) ความดันแก๊ส (Gas pressure) และความเร็วในการตัด (Cutting speed) ผลต่อการสึกหรอของหัวตัด (Nozzle wear) ในการตัดด้วยพลาสมานั้น พบว่า ปริมาณกระแสไฟมีอิทธิพลต่อการสึกหรอบริเวณหัวตัดอย่างมีนัยสำคัญ ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวน Two way ANOVA โดยที่พบว่าเมื่อปริมาณกระแสไฟเพิ่มขึ้น อัตราการสึกหรอของหัวตัดก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับกฎของจูล [20] ที่ได้กล่าวว่า ปริมาณความร้อนจะแปรผันตามขนาดของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและเวลาที่ให้กระแสไฟฟ้า นั้นผ่านโดยที่เมื่อปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดกร่อนของวัสดุก็จะเพิ่มขึ้นตามปัจจัยที่ทำให้เกิดการสึกหรอ ซึ่งในการศึกษานี้ยังมิได้นำปัจจัยของระยะเวลาในการตัด ชนิดของวัสดุ เป็นต้น

5.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ

ได้แนวโน้มนำตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอที่เกิดขึ้นในหัวตัดเครื่องพลาสมาเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบกระบวนการตัดที่ต้องใช้การตัดด้วยเครื่องพลาสมา

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต

งานวิจัยในหัวตัดเครื่องพลาสมาในที่นี้ศึกษาเฉพาะปัจจัยของกระแสไฟ ความดันแก๊ส และความเร็วในการตัด ซึ่งในการตัดด้วยเครื่องพลาสมานั้นมีปัจจัยอื่น ๆ อีกหลายปัจจัยที่สามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงค่าในการตัด ดังนั้นในอนาคตหากมีการวิจัยเพิ่มเติมแนะนำให้หาปัจจัยเหล่านั้นมาศึกษาอย่างเช่น ระยะเวลาในการตัด วัสดุที่ต่างกันของชิ้นงาน หรือความหนาของชิ้นงาน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

เอกสารเผยแพร่ ยุทธศาสตร์การพัฒนอุตสาหกรรมไทย 4.0 ระยะ 20 ปี. [ออนไลน์]. ได้จาก:

http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry_plan/thailandindustrialdevelopmentstrategy4.0.pdf

เอกสารเผยแพร่ หมวดที่ 5: การให้ความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Heating).

Whiting. (2007). **Improving plasma cut quality Best cuts begin with system components**. [On-line]. Available: <https://www.hypertherm.com/learn/articles/improving-plasma-cut-quality---best-cuts-begin-with-system-components/>

การตัดพลาสมา. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.craft-skill.com/_m/article/content/content.php?aid=539339705

Optimizing consumable life in mechanized plasma cutting. [On-line]. Available: <http://www.thefabricator.com/article/plasmacutting/optimizing-consumable-life-in-mechanized-plasma-cutting>.

การตัดโลหะด้วยระบบพลาสมาอาร์. [ออนไลน์]. ได้จาก: www.siampart.com/content/file/tips/0915161473911762.pdf

Optimizing consumable life in mechanized plasma cutting. [On-line]. Available: <http://www.thefabricator.com/article/plasmacutting/optimizing-consumable-life-in-mechanized-plasma-cutting>.

ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์ และคณะ. (2545). การสึกหรอ: ความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

นิติกร นรภัยพิพาษา. (2554). ผลกระทบของอุณหภูมิผิวสัมผัสที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมการสึกหรอของอิพอกซีเรซินเติมซิลิกาบด. คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ASTM G99-90: Standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus, in ASTM standards. (1998). **The American Society for Testing's and Materials**. 399-403.

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์. [ออนไลน์]. ได้จาก : <https://articleshubandshare.wordpress.com/2013/03/26>

- Nemchinsky, V.A. (1998). Plasma flow in a nozzle during plasma arc cutting. **Journal of Physics D: Applied Physics**. 31: 3102-3107.
- Colt, J. (2002). **Matters of the fourth state-Technology advances pump up the energy density levels of plasma cutters. Cutting technology.** [On-line]. Available: <http://www.zakmet.pl/source/cutting%20technology%20Hypertherm.pdf>
- Peters, J. (2006). **Effects of torch design and operating conditions on plasma properties in a plasma cutting system.** University of Minnesota.
- Colombo, V., Concetti, A., Ghedini, E., Dallavalle, S., Vancini, M., Rotundo, F., and Chiavari, C. (2010). Experimental analysis of the behaviour of high current electrodes in plasma arc cutting during first cycles. **International Plasma Chemistry Society**. 19.
- Ilii, S-M., Coteană, M., and Munteanu, A. (2010). Experimental results concerning the variation of surface roughness parameter (Ra) at plasma arc cutting of a stainless steel work piece. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**. 2(1): 31-36.
- Begic, D[erzija]., Kulenovic, M[alik]., Cekic, A[hmet]., and Dedic, E[ldin]. (2012). Some experimental studies on plasma cutting quality of low alloy steel. In **Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium** (vol 23, pp. 183-186). Vienna: DAAAM International.
- Syazwanil, H., Mebrahitom, G., and A. Azmir, A. (2015). A review on nozzle wear in abrasive water jet machining application. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. 114: 1-8.
- Slătineanu, L., Bangu, S., Coteață, M., Dodun, O., Boca, M., and Beșliu, I. (2017). Surface roughness at plasma cutting. **Nonconventional Technologies Review**. 6-10.
- กำลัง (Power) และพลังงาน (Energy) ทางไฟฟ้า. [On-line]. Available: http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=914&Itemid=3

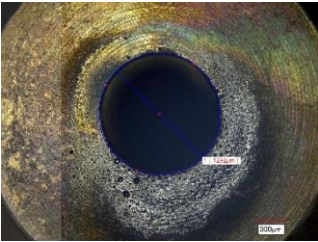
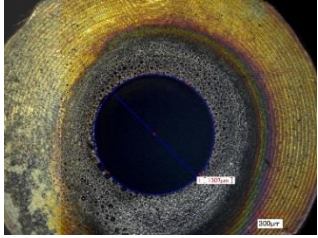
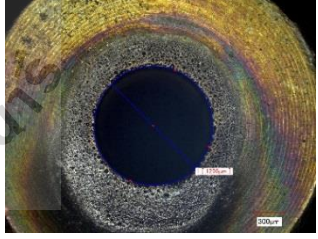
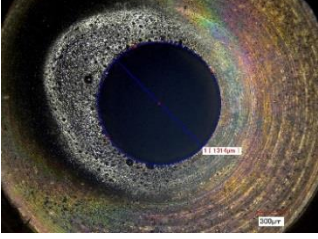


ภาคผนวก ก

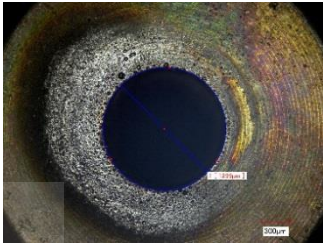
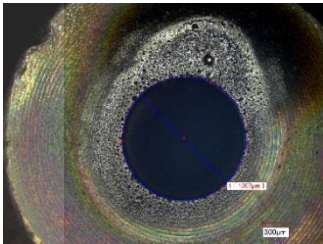
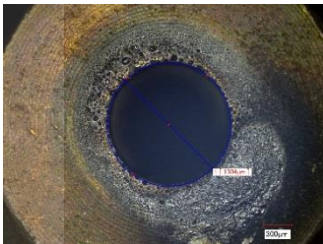
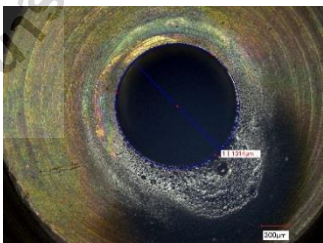

ตารางแสดงค่าต่าง ๆ

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงค่าต่าง ๆ

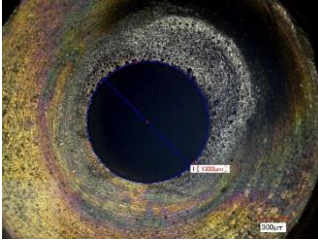
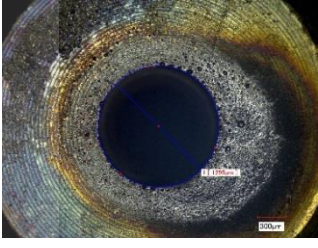
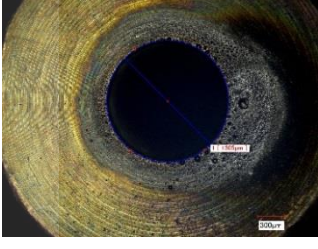


ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
1	40	6	200	Y ₁₁₁₁	1.292	
2	40	7	200	Y ₁₂₁₁	1.307	
3	40	8	200	Y ₁₃₁₁	1.296	
4	42	6	200	Y ₂₁₁₁	1.314	

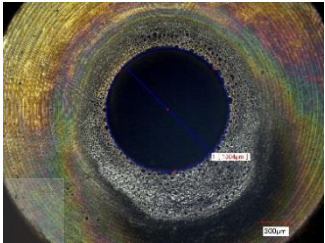
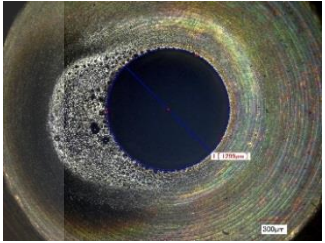
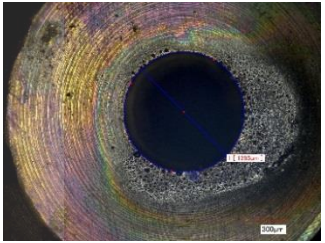
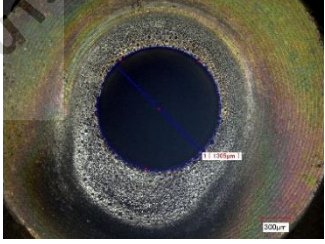
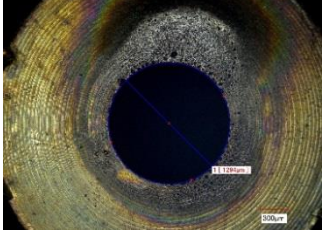
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
5	42	7	200	Y ₂₂₁₁	1.299	
6	42	8	200	Y ₂₃₁₁	1.307	
7	45	6	200	Y ₃₁₁₁	1.304	
8	45	7	200	Y ₃₂₁₁	1.314	
9	45	8	200	Y ₃₃₁₁	1.303	

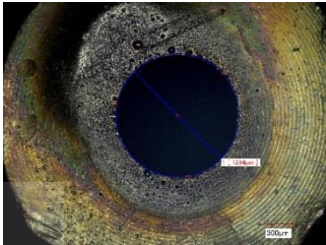
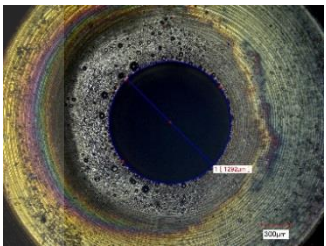
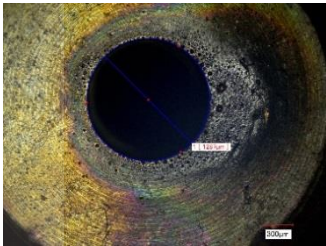
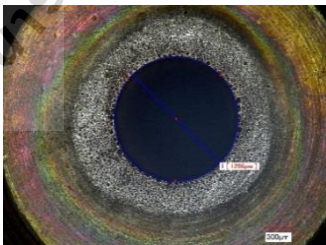
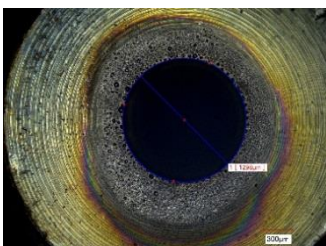
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมา ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
10	40	6	300	Y ₁₁₂₁	1.300	
11	40	7	300	Y ₁₂₂₁	1.295	
12	40	8	300	Y ₁₃₂₁	1.305	
13	42	6	300	Y ₂₁₂₁	1.298	
14	42	7	300	Y ₂₂₂₁	1.291	

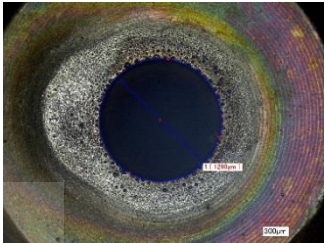
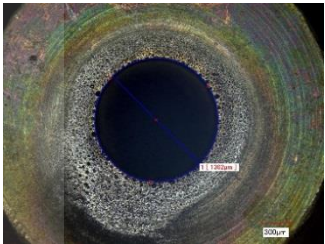
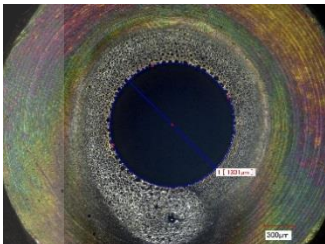
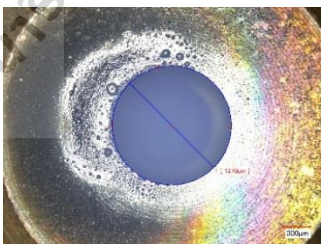
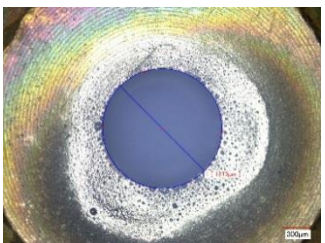
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมา ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
15	42	8	300	Y ₂₃₂₁	1.304	
16	45	6	300	Y ₃₁₂₁	1.299	
17	45	7	300	Y ₃₂₂₁	1.285	
18	45	8	300	Y ₃₃₂₁	1.305	
19	40	6	400	Y ₁₁₃₁	1.294	

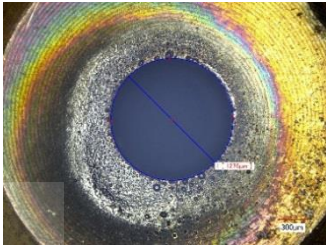
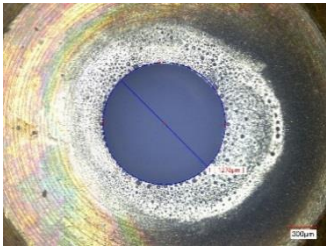
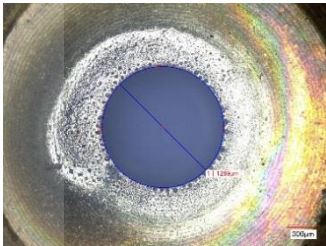
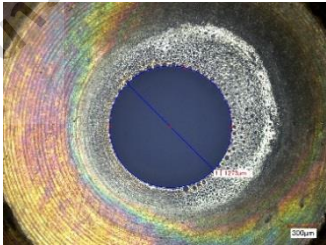
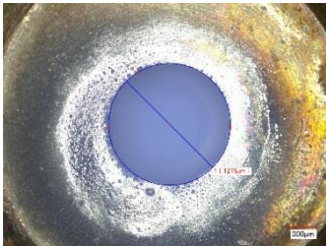
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
20	40	7	400	Y ₁₂₃₁	1.294	
21	40	8	400	Y ₁₃₃₁	1.292	
22	42	6	400	Y ₂₁₃₁	1.287	
23	42	7	400	Y ₂₂₃₁	1.296	
24	42	8	400	Y ₂₃₃₁	1.298	

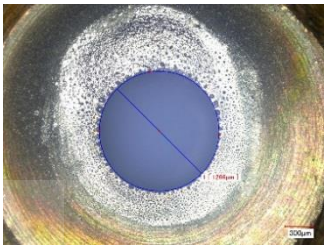
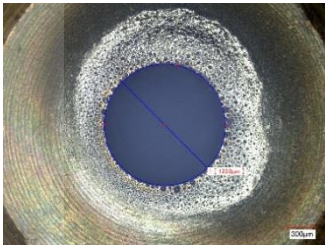
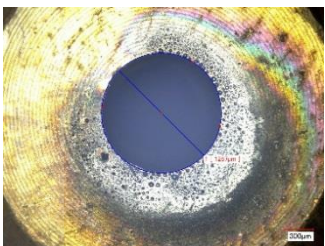
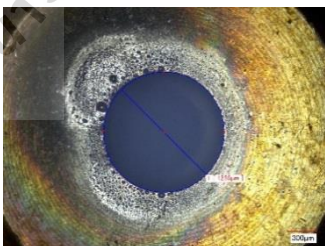
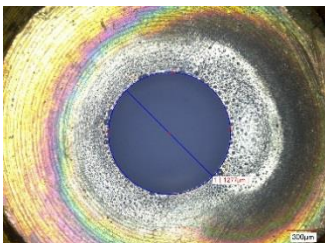
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
25	45	6	400	Y ₃₁₃₁	1.290	
26	45	7	400	Y ₃₂₃₁	1.302	
27	45	8	400	Y ₃₃₃₁	1.301	
28	40	6	200	Y ₁₁₁₂	1.270	
29	40	7	200	Y ₁₂₁₂	1.273	

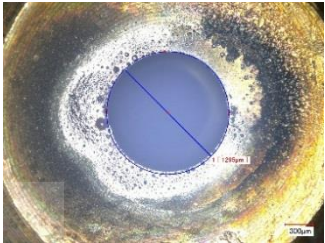
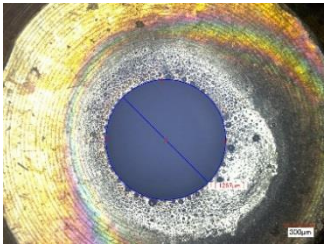
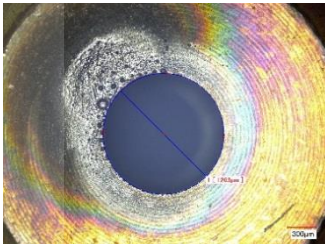
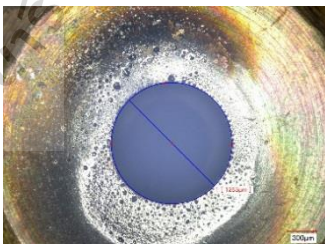
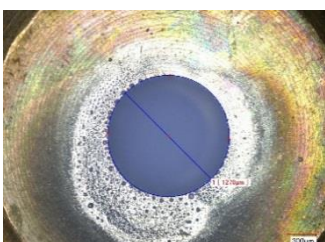
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
30	40	8	200	Y ₁₃₁₂	1.276	
31	42	6	200	Y ₂₁₁₂	1.278	
32	42	7	200	Y ₂₂₁₂	1.269	
33	42	8	200	Y ₂₃₁₂	1.273	
34	45	6	200	Y ₃₁₁₂	1.275	

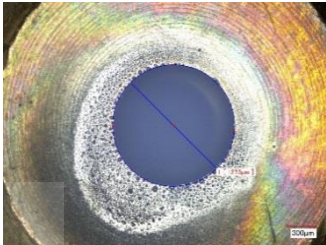
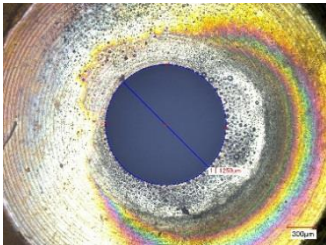
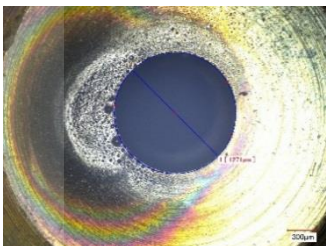
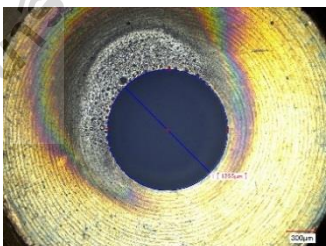
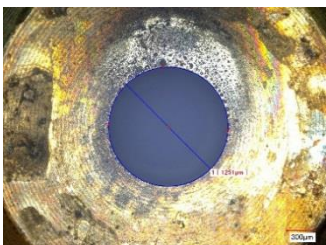
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
35	45	7	200	Y ₃₂₁₂	1.266	
36	45	8	200	Y ₃₃₁₂	1.269	
37	40	6	300	Y ₁₁₂₂	1.267	
38	40	7	300	Y ₁₂₂₂	1.259	
39	40	8	300	Y ₁₃₂₂	1.277	

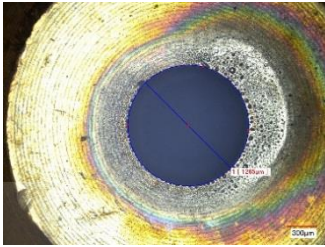
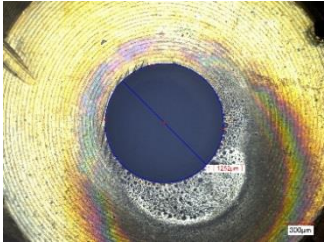
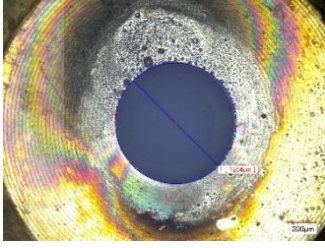
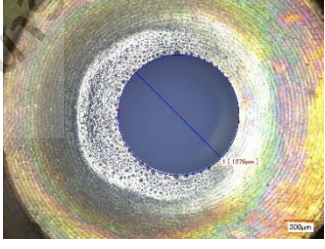
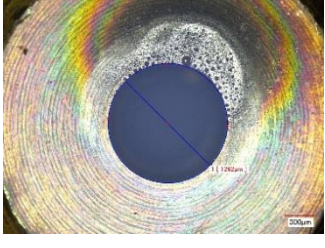
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
40	42	6	300	Y ₂₁₂₂	1.295	
41	42	7	300	Y ₂₂₂₂	1.267	
42	42	8	300	Y ₂₃₂₂	1.263	
43	45	6	300	Y ₃₁₂₂	1.263	
44	45	7	300	Y ₃₂₂₂	1.270	

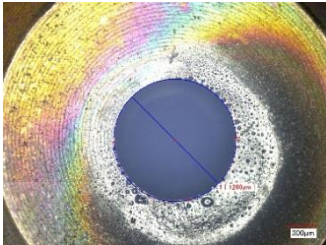
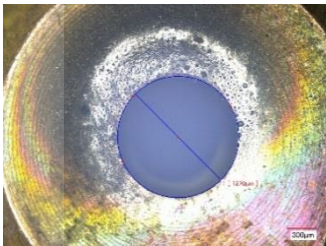
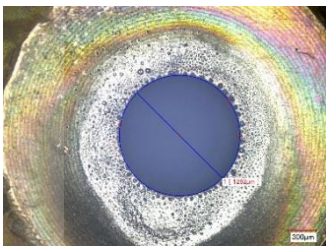
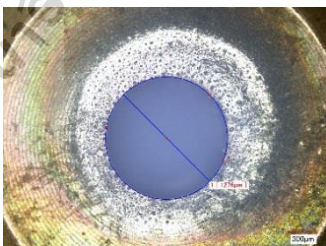
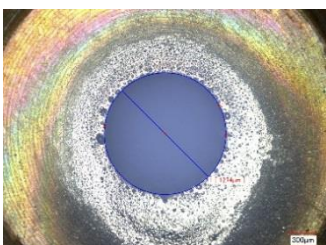
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
45	45	8	300	Y ₃₃₂₂	1.273	
46	40	6	400	Y ₁₁₃₂	1.259	
47	40	7	400	Y ₁₂₃₂	1.271	
48	40	8	400	Y ₁₃₃₂	1.265	
49	42	6	400	Y ₂₁₃₂	1.251	

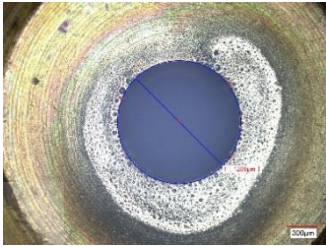
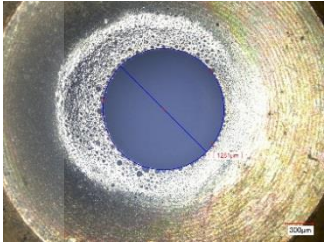
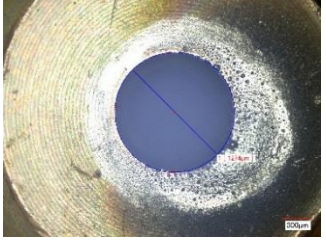
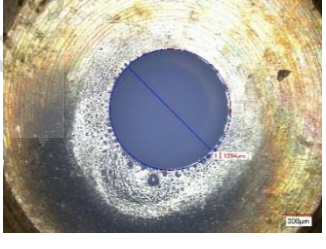
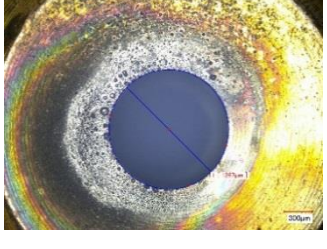
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
50	42	7	400	Y ₂₂₃₂	1.265	
51	42	8	400	Y ₂₃₃₂	1.252	
52	45	6	400	Y ₃₁₃₂	1.264	
53	45	7	400	Y ₃₂₃₂	1.276	
54	45	8	400	Y ₃₃₃₂	1.262	

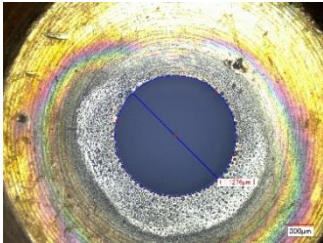
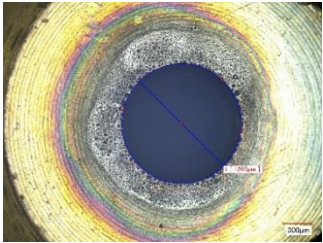
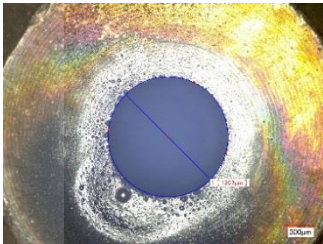
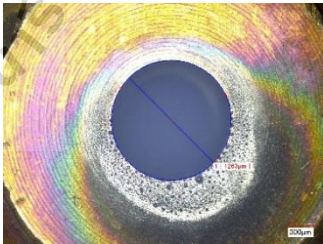
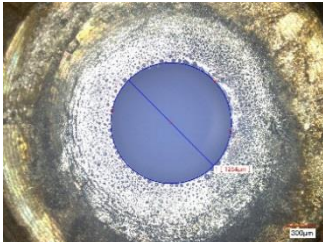
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
55	40	6	200	Y ₁₁₁₃	1.280	
56	40	7	200	Y ₁₂₁₃	1.270	
57	40	8	200	Y ₁₃₁₃	1.262	
58	42	6	200	Y ₂₁₁₃	1.276	
59	42	7	200	Y ₂₂₁₃	1.274	

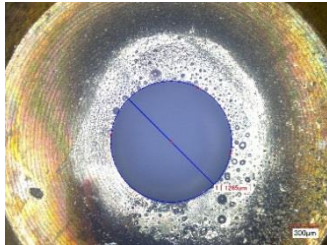
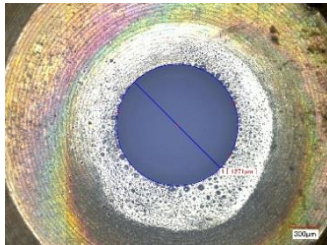
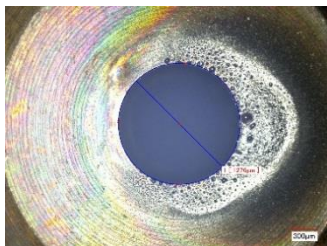
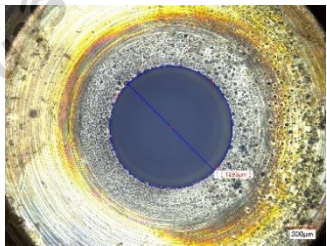
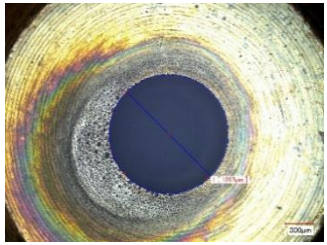
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
60	42	8	200	Y ₂₃₁₃	1.289	
61	45	6	200	Y ₃₁₁₃	1.281	
62	45	7	200	Y ₃₂₁₃	1.274	
63	45	8	200	Y ₃₃₁₃	1.284	
64	40	6	300	Y ₁₁₂₃	1.267	

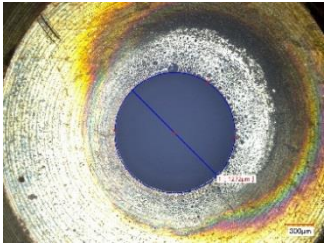
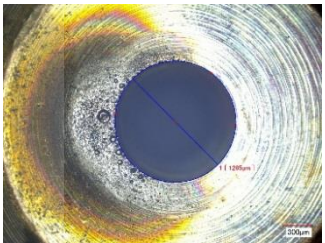
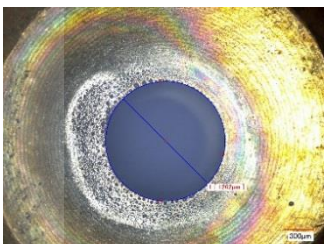
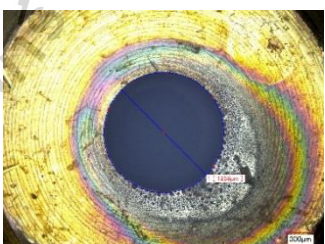
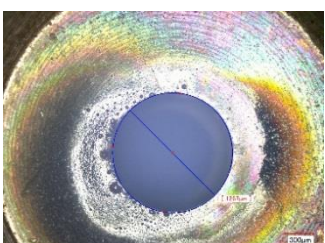
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
65	40	7	300	Y ₁₂₂₃	1.276	
66	40	8	300	Y ₁₃₂₃	1.265	
67	42	6	300	Y ₂₁₂₃	1.267	
68	42	7	300	Y ₂₂₂₃	1.263	
69	42	8	300	Y ₂₃₂₃	1.264	

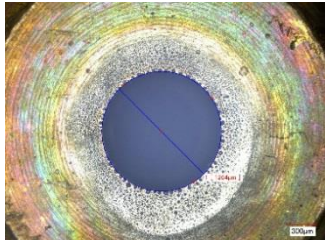
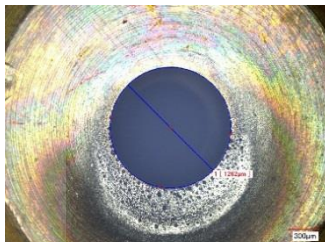
ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

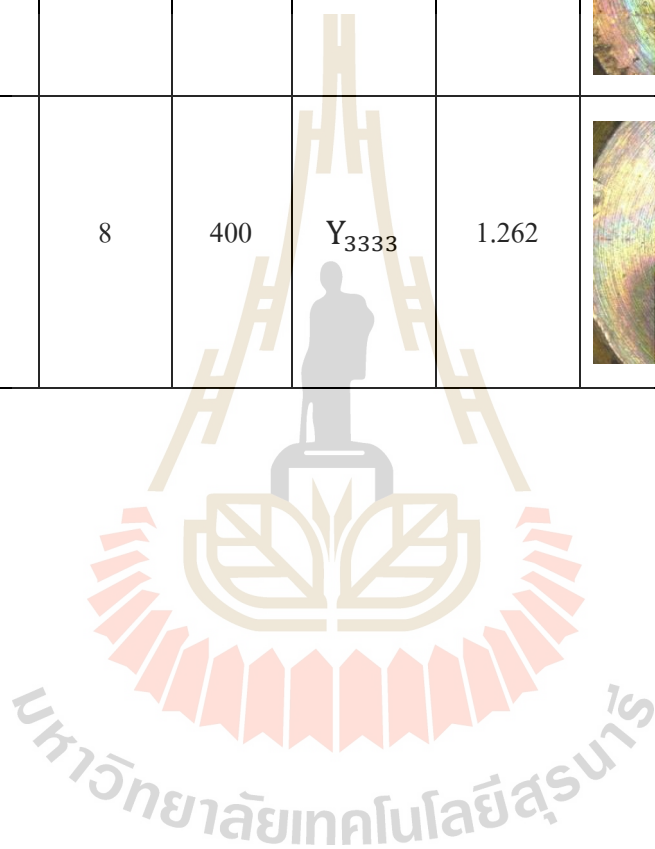
EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
70	45	6	300	Y ₃₁₂₃	1.265	
71	45	7	300	Y ₃₂₂₃	1.271	
72	45	8	300	Y ₃₃₂₃	1.276	
73	40	6	400	Y ₁₁₃₃	1.293	
74	40	7	400	Y ₁₂₃₃	1.267	

ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
75	40	8	400	Y ₁₃₃₃	1.272	
76	42	6	400	Y ₂₁₃₃	1.285	
77	42	7	400	Y ₂₂₃₃	1.262	
78	42	8	400	Y ₂₃₃₃	1.268	
79	45	6	400	Y ₃₁₃₃	1.267	

ตาราง ก.1 การเก็บข้อมูลค่าขนาดรูของหัวตัดเครื่องพลาสมาที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

EXP	Current amp	Gas pressure	Cutting speed	Nozzle Diameter	Nozzle diameter (mm)	รูปภาพประกอบ
80	45	7	400	Y ₃₂₃₃	1.264	
81	45	8	400	Y ₃₃₃₃	1.262	



ภาคผนวก ข

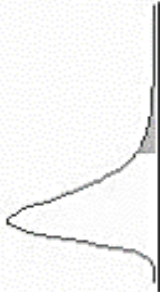
ตารางแสดงค่า F distribution

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

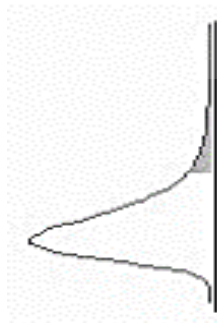
ตารางแสดงค่า F distribution

F-table for alpha 0.05



$F_{(0.05, df1, df2)}$

df2/df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	INF
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19	19.16	19.25	19.3	19.33	19.35	19.37	19.38	19.4	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.5
3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.014	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.745	8.703	8.66	8.639	8.617	8.594	8.572	8.549	8.526
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.912	5.858	5.803	5.774	5.746	5.717	5.688	5.658	5.628
5	6.608	5.786	5.41	5.192	5.05	4.95	4.876	4.818	4.773	4.735	4.678	4.619	4.558	4.527	4.496	4.464	4.431	4.399	4.365
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.06	4	3.938	3.874	3.842	3.808	3.774	3.74	3.705	3.669
7	5.591	4.737	4.347	4.12	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.575	3.511	3.445	3.411	3.376	3.34	3.304	3.267	3.23
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.501	3.438	3.388	3.347	3.284	3.218	3.15	3.115	3.079	3.043	3.005	2.967	2.928
9	5.117	4.257	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.23	3.179	3.137	3.073	3.006	2.937	2.901	2.864	2.826	2.787	2.748	2.707
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.136	3.072	3.02	2.978	2.913	2.845	2.774	2.737	2.7	2.661	2.621	2.58	2.538
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.788	2.719	2.646	2.609	2.571	2.531	2.49	2.448	2.405
12	4.747	3.885	3.49	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.687	2.617	2.544	2.506	2.466	2.426	2.384	2.341	2.296
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.604	2.533	2.459	2.42	2.38	2.339	2.297	2.252	2.206
14	4.6	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.534	2.463	2.388	2.349	2.308	2.266	2.223	2.178	2.131
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.791	2.707	2.641	2.588	2.544	2.475	2.403	2.328	2.288	2.247	2.204	2.16	2.114	2.066
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.425	2.352	2.276	2.235	2.194	2.151	2.106	2.059	2.01
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.81	2.699	2.614	2.548	2.494	2.45	2.381	2.308	2.23	2.19	2.148	2.104	2.058	2.011	1.96
18	4.414	3.555	3.16	2.928	2.773	2.661	2.577	2.51	2.456	2.412	2.342	2.269	2.191	2.15	2.107	2.063	2.017	1.968	1.917
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.74	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.308	2.234	2.156	2.114	2.071	2.026	1.98	1.93	1.878
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.278	2.203	2.124	2.083	2.039	1.994	1.946	1.896	1.843
21	4.325	3.467	3.073	2.84	2.685	2.573	2.488	2.421	2.366	2.321	2.25	2.176	2.096	2.054	2.01	1.965	1.917	1.866	1.812
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.226	2.151	2.071	2.028	1.984	1.938	1.889	1.838	1.783
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.64	2.528	2.442	2.375	2.32	2.275	2.204	2.128	2.048	2.005	1.961	1.914	1.865	1.813	1.757
24	4.26	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.3	2.255	2.183	2.108	2.027	1.984	1.939	1.892	1.842	1.79	1.733
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.49	2.405	2.337	2.282	2.237	2.165	2.089	2.008	1.964	1.919	1.872	1.822	1.768	1.711



F-table for alpha 0.05

$F_{(0.05, df1, df2)}$

df2/df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	INF
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.266	2.22	2.148	2.072	1.99	1.946	1.901	1.853	1.803	1.749	1.691
27	4.21	3.354	2.96	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.25	2.204	2.132	2.056	1.974	1.93	1.884	1.836	1.785	1.731	1.672
28	4.196	3.34	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.19	2.118	2.041	1.959	1.915	1.869	1.82	1.769	1.714	1.654
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.105	2.028	1.945	1.901	1.854	1.806	1.754	1.698	1.638
30	4.171	3.316	2.922	2.69	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.092	2.015	1.932	1.887	1.841	1.792	1.74	1.684	1.622
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.45	2.336	2.249	2.18	2.124	2.077	2.004	1.925	1.839	1.793	1.744	1.693	1.637	1.577	1.509
60	4.001	3.15	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.04	1.993	1.917	1.836	1.748	1.7	1.649	1.594	1.534	1.467	1.389
120	3.92	3.072	2.68	2.447	2.29	2.175	2.087	2.016	1.959	1.911	1.834	1.751	1.659	1.608	1.554	1.495	1.429	1.352	1.254
inf	3.842	2.996	2.605	2.372	2.214	2.099	2.01	1.938	1.88	1.831	1.752	1.666	1.571	1.517	1.459	1.394	1.318	1.221	1

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Paphakorn Pitayachaval and Muhammatsoifu Sato. (2018). **Investigating parameters that effect to wear of plasma nozzle**. In The 6th Asia Conference on Mechanical and Materials Engineering (ACMME 2018). Seoul, South Korea.



Investigating Parameters That Effect to Wear of Plasma Nozzle

Paphakorn Pitayachaval^{1,a} and Muhammatsoifu Sato²

¹*School of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand*

²*School of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand*

Abstract. Plasma cutting machine normally applies to cut metal in electrical conductivity industrial according to an accuracy dimension and rapidly time consuming. A quality of this process is depend upon a cutting surface and kerf by controlling diameter of nozzle and size of electrode. Since kerf shape is crated base on nozzle diameter, while electrode is served plasma arc. This paper presents an investigating three cutting parameters: cutting speed, pressure gas, current ampere that affect to wear of plasma nozzle. The fixed variables are a plasma-cutting machine, Hypertherm powermax 45 xp, Bindee control CNC machine and specimens (100x100 mm.). The cutting speed was holed at 200, 300, 400 mm/min. The gas pressure was controlled at 6, 7, 8 bar. The current Ampere was handled at 40, 42, 45 A. The diameters of nozzle was measured using digital microscope. The experiments conducted based on ANOVA to establish the relationship of those parameters. The nozzle wear depended upon the current Ampere, the high gas pressure while the cutting speed was not effect to nozzle wear.

1 Introduction

A metal cutting process is wildly used in general industry to cut several metal spare parts and framework such as railway, aircraft, automobile, etc. Even through there are a variety of metal cutting machines such as laser cutting, oxy-fuel gas cutting, water-jet cutting, these machine provide a cutting edge quality that contradicts with product cost. The laser cutting gives a high quality while demand more expend. However, a plasma-cutting machine gives acceptable cutting quality and production time while the product cost is admitted [1].

The plasma cutting machine is a machine to cut metal with high temperature [3]. This machine contains DC power source, pressure plume and cutting head, which composes of torch (cathode), electrode and nozzle, as shown in figure 1. The plasma art is conducted by heated gas based on extremely high temperature [4], then it transfer via nozzle to work pieces that becomes electrically conductive. After that, the metal is to be melted and removed along cutting pattern. An advantage of plasma cutting is a clean process [5] that produces dross free with minimal heat input. Plasma arc frame is conducted by nitrogen gas and oxygen gas. This frame can be used to cut a conductive material including ferrous and nonferrous metal. Since there are several parameters of acceptable quality for plasma cutting such as cutting speed, current ampere, height of cutting head and gas pressure [6]. To control process parameters that are affects quality of cutting; there are only three key parameters; cutting speed, current ampere and gas pressure, respective [7].

Beside those parameters, heat of plasma gas,

^a Corresponding author: author@e-mail.org

Generated by the plasma beam during the cutting operation, also conducts wear of plasma device components, especially nozzle wear for the consumable part [8]. This wear introduces inconstancy frame diameter. In order to obtain the acceptable cutting quality, larger orifice nozzle and electrode were applied [9]. Moreover, variable factors that affect tool life of nozzle and electrode depended upon many factors that are a number of cutting pierces, cutting duration, material thickness [10], including degree of erosion of the nozzle around the orifice nozzle [11]. To investigate those parameters, this paper attempts to conduct experiments for cutting speed, pressure gas, current ampere in order to identify state of parameters that affect to wear of plasma nozzle.

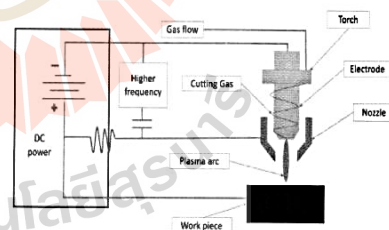


Figure 1. Schematic diagram of plasma arc cutting.

Table 1. The factors comparison of fuel-gas cut, laser cut and plasma cut From (Publication Section 5: Electromagnetic Heating Department of Alternative Energy Department and Efficiency <http://www.dede.go.th>)

Machine	Fuel-gas cut	Laser cut	Plasma cut
Quality cut	Pool cut quality get most burns and Finishing work piece	best cut quality get minas burns	Good cut quality get burns
Cut speed	Quite slowly	Fast (cut < 0.25 in)	Fast
Machine price	Around 200,000-500,000 for machine cut metal diameter 20x6.5 ft .0.4 in thickness	Around 300,000 for machine cut metal diameter 20x6.5 ft .0.4 in thickness	Around 120,000 for machine cut metal diameter 20x6.5 ft .0.4 in thickness
Consultable	Tip cutter	Protective glass, gas nozzle Dust filter	Cutting nozzle, electrode

2 Experimental

There are three factors that were investigated on this experimental: current ampere, cutting speed, gas pressure. The current ampere (40, 42, 45A), cutting speed (200, 300, 400mm/min) and gas pressure (6, 7, 8 bar) were applied to cut metal (588GrA, 242 Type I) 10 mm. thickness. The cutting parameters were established as presented in Table 2.

Table 2. The cutting parameters for experimental

Factor	Symbol	Level			Unit
		1	2	3	
Current Ampere	A	40	42	45	A
Gas Pressure	B	6	7	8	bar
cutting Speed	C	200	300	400	mm/min

The experimental machine was the Hypertherm powermax 45 xp and the head moving control unit was applied Bindee control, as show in Fig 2. The size of specimens were 100 mm x 100 mm, as show in Fig 3. A digital microscope model Keyence VHX 700F was applied to measure diameter of nozzles after cutting, as show Fig 4.

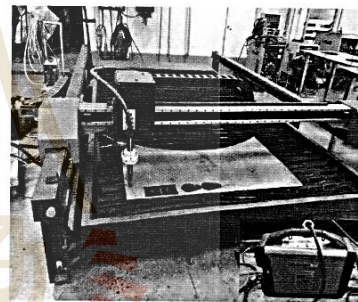


Figure 2. Plasma cutting machine , bindee control.

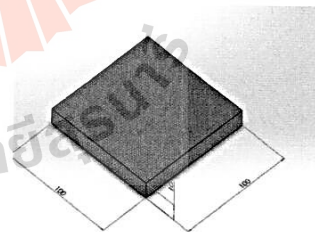


Figure 3. The size of specimen

^a Corresponding author: author@e-mail.org

Short title of the conference

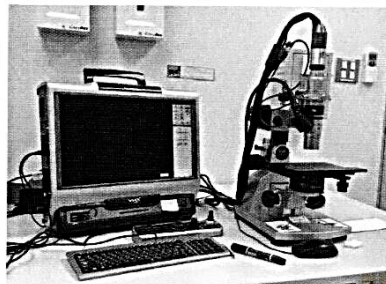


Figure 4. Digital microscope Keyence VHX 700P.

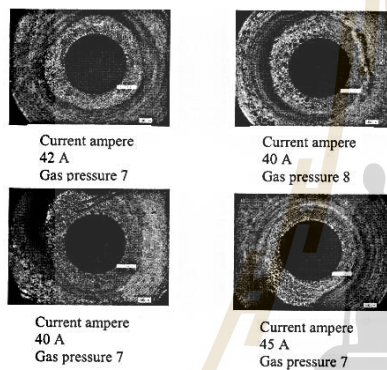


Figure 5. The variation of orifice nozzle.

4 Result

Based on single parameter plasma cutting, the wear of orifice nozzle depended on current ampere and gas pressure, respectively. Beside, two factors analysis founded the interaction between current ampere and gas pressure that effect to wear orifice nozzle, as shown in Table 1. The results of the experiment was obtained from twenty-seven examples, which measure the orifice diameter to check the wear by a digital microscope, as shown in figure 5. Minitab statistic software was applied to analyze interaction effects of those parameters, as shown in table 3.

Table 3. ANOVA analysis by minitab software

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Current ampere	2	0.000045	0.000023	0.62	0.562
Gas pressure	2	0.000070	0.000035	0.96	0.423
Cutting speed	2	0.000386	0.000193	5.27	0.035
Current ampere*Gas pressure	4	0.000079	0.000020	0.54	0.714
Current ampere*Cutting speed	4	0.000155	0.000039	1.06	0.437
Gas pressure*Cutting speed	4	0.000371	0.000093	2.53	0.123
Error	8	0.000293	0.000037		
Total	26	0.001399			

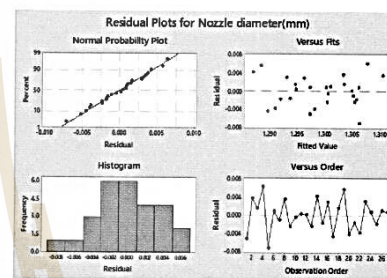


Figure 6. Residual Plots for Nozzle diameter.

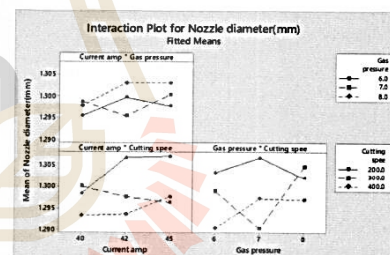


Figure 7. Interaction plot Nozzle diameter.

^a Corresponding author: author@e-mail.org

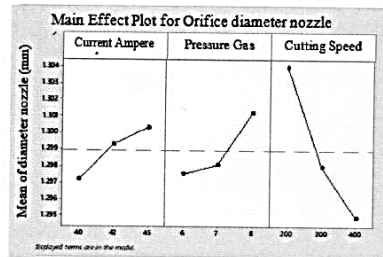


Figure 8. Main effect plots for orifice nozzle diameter.

The normal probability graphs obtained from the experiment presents the normal probability of variable, as shown in figure 6, in which the variable values are near the ideal normal line, the data from the experiments was distributed under the variation of natural causes. However, the current ampere, gas pressure and cutting speed was interaction, as shown in fig 7.

From Fig 8 The results shown that cutting speed were increased from 200 to 300 mm/min and from 300 to 400 mm/min the orifice nozzle damaged diameters were decreased rapidly. Moreover, plasma gas pressure were controlled to increase from 6 to 7 bar and from 7 to 8 bar, the orifice nozzle damaged diameter were also expanded. When current amperes were increased from 40 to 42 A and from 42 to 45 A, the orifice nozzle damaged diameter were also increased, as shown in figure 8. Therefore, the increasing of controlled parameters effect to the orifice nozzle damaged diameter.

5 Conclusions

For plasma cutting, the parameters that affects to nozzle wear were cutting speed, plasma gas pressure and current ampere. These parameters were also presented their interactions for increasing the orifice nozzle damaged diameter. However, the relationship of those parameters will be mathematical defined as the future work.

Acknowledgment

This research has been supported by the research and development supporting fund, Suranaree University of Technology.

References

1. Plasma Arc Cutting Cost S.M. Ilii1*, M. Coteat1** 2009
2. Publication Section 5: Electromagnetic Heating Department Of Alternative Energy Department And Efficiency [Http://www.Dede.Go.Th](http://www.Dede.Go.Th)
3. Parametric Study On Plasma Arc Cutting Of A1 – 6063 Hardik Dholakiya1, Vikas Gondalia2 2017
4. Plasma Cutting In Atmosphere And Under Water W. Bach And A. Gruchow 1992
5. Faq: What Are The Advantages And Disadvantages Of The Principal Cutting <https://www.Twi-Global.Com/Technical-Knowledge/Faqs/Faq-What-Are-The-Advantages-And-Disadvantages-Of-The-Principal-Cutting-Process/>
6. (Experimental Investigation Of The Plasma Arc Cutting Process , K. Saloniya,*, S. Vatousianob 2012)
7. Analysis In Plasma Arc Cutting Of 21Cr Ferritic Stainless Steel H.Ravi Kumar And S.Thileepan 2015
8. Nozzle And Method Of Operation For A Plasma Arc torch (Richard W. Couch, Jr., Hanover; Nicholas A. Sanders, Norwich; Lifeng Luo, Lebanon; John Sobr, Enfield; Patrik Backander, Lebanon, All Of N.H. 1992)
9. A Review On Nozzle Wear In Abrasive Water Jet Machining Application H. Syazwani1, G. Mebrahitom, A. Azmir 2016
10. Optimizing Consumable Life In Mechanized Plasma Cutting online [Http://www.Thefabricator.Com/Article/Plasmacutting/Optimizing-Consumable-Life-In-Mechanized-Plasma-Cutting](http://www.Thefabricator.Com/Article/Plasmacutting/Optimizing-Consumable-Life-In-Mechanized-Plasma-Cutting)
11. Detecting Non-Symmetrical Nozzle Wear Naplasmaarc Torch Maciej Wlodzimierz Rogozinski.Bulleen; Subramania Ramakrishnan,Balwyn North; Ashley Grant Doolette,Wishart, All Of Australia; Nicholas A.Sanders, Norwich, Vt.; Richard W.Couch, Jr., Hanover, N.H. 1998

Short title of the conference

Authors' background

Your Name	Title*	Research Field	Personal website
Paphakorn Pitayachaval	Assistant Professor	Manufacturing System, Rapid Prototyping Technology, CAD/CAM/CAE and Product Design	paphakorn@g.sut.ac.th
Muhammatsoifu Sato	Master Student	Manufacturing System	saifusato@gmail.com

*This form helps us to understand your paper better, the form itself will not be published.

*Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, lecture, senior lecture, associate professor, full professor



^a Corresponding author: author@e-mail.org

ประวัติผู้เขียน

นายมุฮัมหมัดชอยฟู สะโต เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดนราธิวาส เริ่มการศึกษาระดับอนุบาลศึกษาที่โรงเรียนบ้านบือแนนากอ จังหวัดนราธิวาส สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุกัญศาสน์วิทยา จังหวัดนราธิวาส ภายหลังได้ศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ปีการศึกษา 2552 ในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2556 ภายหลังจากสำเร็จการศึกษาได้ทำงานที่บริษัท Egat Diamond Service Co., Ltd. และบริษัท Emerio (Thailand) Ltd. หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2559 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และได้นำเสนอบทความทางวิชาการชื่อ **Investigating Parameters That Effect to Wear of Plasma Nozzle**, The 6th Asia Conference on Mechanical and Materials Engineering (ACMME 2018), June 15-18, 2018, Seoul, South Korea

